



Régimen de  
Control de  
Tecnología de  
Misiles  
(MTCR)

MANUAL ANEXO  
2017

## Índice electrónico

### Materiales introductorios y definiciones

- Introducción - Régimen de Control de la Tecnología de Misiles (MTCR)
- Apéndice I - Directrices del MTCR
- Apéndice II - Unidades, constantes, acrónimos y abreviaturas (utilizados en el anexo del MTCR)
- Apéndice III - Tabla de conversiones
- Anexo - Declaración de Entendimiento del MTCR
- Anexo del MTCR Introducción, definiciones y terminología

### Categoría I

- Artículo 1 - Sistemas de entrega completos
- Artículo 2 - Subsistemas completos utilizables para sistemas de entrega completos

### Categoría II

- Artículo 3 - Componentes y equipo de propulsión
- Artículo 4 - Propulsantes, productos químicos y producción de propulsantes
- Artículo 5 - Reservado
- Artículo 6 - Producción de materiales compuestos estructurales, deposición y densificación pirolítica y materiales estructurales
- Artículo 7 - Reservado
- Artículo 8 - Reservado
- Artículo 9 - Instrumentación, navegación y equipos radiogoniométricos
- Artículo 10 - Control de vuelo
- Artículo 11 - Aviónica
- Artículo 12 - Apoyo al lanzamiento
- Artículo 13 - Ordenadores
- Artículo 14 - Convertidores analógico-digital
- Artículo 15 - Instalaciones y equipos para ensayos
- Artículo 16 - Modelización, simulación e integración de diseño
- Artículo 17 - Sigilo
- Artículo 18 - Protección contra los efectos nucleares
- Artículo 19 - Otros sistemas completos de entrega
- Artículo 20 - Otros subsistemas completos

Introducción  
Régimen de control de  
tecnología de misiles  
(MTCR)

## Introducción - Régimen de Control de Tecnología de Misiles (MTCR)

- Argentina
- Australia
- Austria
- Bélgica
- Bulgaria
- Brasil
- Canadá
- República Checa
- Dinamarca
- Finlandia
- Francia
- Alemania
- Grecia
- Hungría
- Islandia
- India
- Irlanda
- Italia
- Japón
- Luxemburgo
- Países Bajos
- Nueva Zelanda
- Noruega
- Polonia
- Portugal
- República de Corea
- Federación Rusa
- Sudáfrica
- España
- Suecia
- Suiza
- Turquía
- Ucrania
- Reino Unido
- Estados Unidos

Socios de MTCR



El Régimen de Control de Tecnología de Misiles es una asociación informal y voluntaria de países que comparten los objetivos de no proliferación de sistemas capaces de entregar armas de destrucción masiva (que no sean aeronaves tripuladas), y que buscan coordinar los esfuerzos nacionales de licencias de exportación destinados a prevenir su proliferación. El MTCR fue establecido originalmente en 1987 por Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón, el Reino Unido y los Estados Unidos. Desde ese momento, el número de socios del MTCR ha aumentado a un total de 35 países, todos los cuales tienen la misma posición dentro del régimen.

El MTCR se inició en parte en respuesta a la creciente proliferación de armas de destrucción masiva (ADM), y en particular por las armas nucleares, químicas y biológicas. El riesgo de proliferación de ADM está bien reconocido como una amenaza para la paz y la seguridad internacionales, incluido el Consejo de Seguridad de la ONU en su Declaración de la Cumbre de 31 de enero de 1992. Si bien la preocupación se ha centrado tradicionalmente en los proliferadores estatales, después de los trágicos eventos del 11 de septiembre de 2001, se hizo evidente que también se debe hacer más para disminuir el riesgo de que los sistemas de entrega de ADM caigan en manos de grupos e individuos terroristas. Una forma de contrarrestar esta amenaza es mantener la vigilancia sobre la transferencia de equipos de misiles, materiales y tecnologías relacionadas que puedan utilizarse para sistemas capaces de entregar ADM.

El MTCR se basa en el cumplimiento de las directrices comunes de política de exportación (las Directrices MTCR) aplicadas a una lista común integral de elementos controlados (el Anexo de Equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR). El MTCR no toma decisiones de licencias de exportación como grupo. Más bien, los socios individuales son responsables de implementar las Directrices y el Anexo sobre la base de la discreción nacional soberana y de acuerdo con la legislación y las prácticas nacionales.

Todas las decisiones del MTCR se toman por consenso y los socios del MTCR intercambian regularmente información sobre cuestiones relevantes respecto a licencias de exportación nacionales en el contexto de los objetivos generales del Régimen. Se celebra anualmente una reunión plenaria y se preside de forma rotativa. Se han celebrado sesiones plenarias recientes en Copenhague, Dinamarca (2006); Atenas, Grecia (2007); Canberra, Australia (2008); Río de Janeiro, Brasil (2009); Buenos Aires, Argentina (2011); Berlín, Alemania (2012); Roma, Italia (2013); Oslo, Noruega (2014); Rotterdam, Países

Bajos (2015) y Busan, República de Corea (2016). Además, mensualmente se realizan consultas entre sesiones a través de las reuniones de Punto de contacto (POC) en París, mientras que las reuniones de expertos técnicos, los intercambios de información y las reuniones de expertos en cumplimiento se llevan a cabo ad hoc. El MTCR no tiene secretaría. La distribución de los documentos de trabajo del régimen se lleva a cabo a través del POC, cuyas funciones son realizadas por el Ministerio de Asuntos Exteriores de Francia.

### Anexo de Equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR

El Anexo de Equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR es la lista de artículos controlados del régimen, tanto militares como de doble uso, que incluye prácticamente todos los equipos, materiales, programas informáticos y tecnología clave necesarios para el desarrollo, producción y operación de sistemas capaces de entregar ADM. El anexo se divide en elementos de "Categoría I" y "Categoría II". Los países socios moderan considerando todas las transferencias de artículos contenidos en el anexo y todas esas transferencias se consideran caso por caso. El anexo se actualiza periódicamente para mejorar su claridad y tener en cuenta las tecnologías en evolución.

La mayor restricción se aplica a lo que se conoce como artículos de Categoría I. Estos artículos incluyen sistemas completos de cohetes (incluidos misiles balísticos, vehículos de lanzamiento espacial y cohetes de sondeo) y sistemas de vehículos aéreos no tripulados (incluidos sistemas de misiles de crucero, drones de reconocimiento y objetivos) con capacidades que exceden un rango de 300 km/500 kg/umbral de carga útil; instalaciones de producción para tales sistemas; y subsistemas principales que incluyen etapas de cohetes, vehículos de reentrada, motores de cohetes, sistemas de guiado y mecanismos de ojivas.

El resto del anexo se considera como Categoría II, que incluye sistemas completos de cohetes (incluidos sistemas de misiles balísticos, vehículos de lanzamiento espacial y cohetes de sondeo) y vehículos aéreos no tripulados (incluidos sistemas de misiles de crucero, drones objetivo y drones de reconocimiento) no cubiertos en el artículo I, con un alcance máximo igual o superior a 300 km. También se incluye una amplia gama de equipos, materiales y tecnologías, la mayoría de los cuales tienen otros usos que no sean para sistemas capaces de entregar ADM. Si bien aún aceptan ejercer moderación, los socios tienen una mayor flexibilidad en el tratamiento de las solicitudes de transferencia de Categoría II.

## Manual del Anexo del MTCR

Este manual anexo está diseñado para ayudar a implementar controles de exportación en los artículos del Anexo del MTCR. Explica qué son los equipos y tecnologías controlados por el MTCR, cómo se usan, cómo funcionan, qué otros usos pueden tener y cómo se ven. El anexo cubre una gama sumamente amplia de artículos y el manual enfatiza solo aquellas tecnologías más críticas para el diseño y la producción del sistema de entrega. El manual se basa en el Anexo del MTCR vigente desde el 20 de octubre de 2016. Se puede acceder a la versión más reciente del Anexo del MTCR a través del sitio web del MTCR en [www.mtcr.info](http://www.mtcr.info).

El manual está organizado como el Anexo del MTCR, por artículo y apartados. Cada sección sigue el mismo formato: el texto real del Anexo del MTCR se reproduce en una sección resaltada, seguido de una elaboración detallada e imágenes. Todas las "Notas" del Anexo del MTCR relevantes para un apartado particular se han incluido con el texto real para facilitar la lectura. Cada apartado se discute por separado. Al revisar los apartados, el lector debe prestar atención al texto del encabezado en el elemento, que puede contener descriptores adicionales para cada apartado. En su caso, los cuadros laterales que identifican los países que pueden producir o exportar apartados particulares acompañan el texto resaltado. Esta lista de países que podrían estar produciendo tecnologías o sistemas específicos bajo elementos individuales es representativa y no necesariamente exhaustiva.

El Manual del Anexo del MTCR es producido por el gobierno de los Estados Unidos con el fin de facilitar controles efectivos de exportación de artículos controlados por el MTCR. A diferencia de las Directrices y el Anexo del MTCR, el Manual no es una publicación oficial de registro del MTCR. Las imágenes, los sitios web y otras referencias en este manual tienen la intención de dar ejemplos de material y equipo con características similares a las que describe el Anexo del MTCR. Es importante tener en cuenta que la presencia de ciertos artículos o equipos en una fotografía, en un sitio web o en una referencia no significa necesariamente que el artículo ilustrado o referenciado cumpla con las especificaciones de control del MTCR. Las decisiones sobre el estado de control de un artículo se toman teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de un producto específico caso por caso.

Apéndice I  
Directrices del  
Régimen de Control de  
Tecnología de Misiles  
(MTCR)

## Apéndice I – Directrices del Régimen de Control de Tecnología de Misiles (MTCR) para transferencias sensibles a misiles sensibles

1. El propósito de estas Directrices es limitar los riesgos de proliferación de armas de destrucción masiva (es decir, armas nucleares, químicas y biológicas), mediante el control de las transferencias que podrían contribuir a los sistemas de entrega (que no sean aviones tripulados) para tales armas. Las Directrices también pretenden limitar el riesgo de que elementos controlados y su tecnología caigan en manos de grupos e individuos terroristas. Las Directrices no están diseñadas para impedir los programas espaciales nacionales o la cooperación internacional en dichos programas, siempre que dichos programas no puedan contribuir a los sistemas de entrega de armas de destrucción masiva. Estas Directrices, incluido el Anexo adjunto, forman la base para controlar las transferencias a cualquier destino más allá de la jurisdicción del gobierno o el control de todos los sistemas de entrega (que no sean aeronaves tripuladas) capaces de entregar armas de destrucción masiva, y de equipos y tecnología relevantes para misiles cuyo rendimiento en términos de carga útil y rango excede los parámetros establecidos. La restricción se ejercerá en la consideración de todas las transferencias de artículos dentro del Anexo y todas esas transferencias se considerarán caso por caso. El gobierno aplicará las Directrices de conformidad con la legislación nacional.

2. El Anexo consta de dos categorías de artículos, cuyo término incluye equipos y tecnología. Los artículos de Categoría I, todos los cuales están en los artículos 1 y 2 del Anexo, son aquellos de mayor sensibilidad. Si se incluye un elemento de Categoría I en un sistema, ese sistema también se considerará como Categoría I, excepto cuando el elemento incorporado no se pueda separar, eliminar o duplicar. Se ejercerá una moderación particular en la consideración de las transferencias de Categoría I independientemente de su propósito y habrá una fuerte presunción de negar tales transferencias. También se ejercerá moderación particular en la consideración de las transferencias de cualquier artículo en el Anexo o de cualquier misil (esté o no en el Anexo), si el gobierno juzga, sobre la base de toda la información persuasiva disponible, evaluada de acuerdo con factores incluidos los del párrafo 3, que están destinados a ser utilizados para la entrega de armas de destrucción masiva y habrá una fuerte presunción de negar tales transferencias. Hasta nuevo aviso, no se autorizará la transferencia de medios de producción de Categoría I. La transferencia de otros artículos de la Categoría I se autorizará solo en raras ocasiones y cuando el Gobierno (A) obtenga compromisos vinculantes de gobierno a gobierno que incorporen las garantías del gobierno receptor requerido en el párrafo 5 de estas Directrices y (B) asuma la responsabilidad para tomar todas las medidas necesarias para garantizar que el artículo se use solo para su uso final declarado. Se entiende que la decisión de transferir sigue siendo a juicio único y soberano del gobierno.

3. En la evaluación de las solicitudes de transferencia para los elementos del Anexo, se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- A. Preocupaciones sobre la proliferación de armas de destrucción masiva;
- B. Las capacidades y objetivos de los programas de misiles y espaciales del estado receptor;
- C. La importancia de la transferencia en términos del desarrollo potencial de sistemas de entrega (que no sean aviones tripulados) para armas de destrucción masiva;
- D. La evaluación del uso final de las transferencias, incluidas las garantías pertinentes de los estados receptores mencionados en los subpárrafos 5.A y 5.B a continuación;
- E. La aplicabilidad de los acuerdos multilaterales relevantes.
- F. El riesgo de que elementos controlados caigan en manos de grupos e individuos terroristas.



4. La transferencia de tecnología de diseño y producción directamente asociada con cualquier artículo en el Anexo estará sujeta a un grado de escrutinio y control tan grande como el propio equipo, en la medida permitida por la legislación nacional.

5. Cuando la transferencia pueda contribuir a un sistema de entrega de armas de destrucción masiva, el gobierno autorizará transferencias de artículos en el Anexo solo cuando reciba las garantías apropiadas del gobierno del estado receptor de que:

- A. Los artículos se usarán solo para el propósito establecido y ese uso no se modificará ni los artículos se modificarán o replicarán sin el consentimiento previo del gobierno;
- B. Ni los artículos ni las réplicas ni los derivados de los mismos serán transferidos sin el consentimiento del gobierno.

6. Para promover el funcionamiento efectivo de las Directrices, el gobierno, según sea necesario y apropiado, intercambiará información relevante con otros gobiernos que apliquen las mismas Directrices.

7. El gobierno:

- A. estipulará que sus controles nacionales de exportación requieren una autorización para la transferencia de artículos no incluidos en la lista si las autoridades competentes del gobierno han informado al exportador de que los artículos pueden estar destinados, en su totalidad o en parte, para usarse en conexión con los sistemas de entrega para armas de destrucción masiva que no sean aviones tripulados;
- B. y, si el exportador es consciente de que los artículos no incluidos en la lista tienen la intención de contribuir a tales actividades, en su totalidad o en parte, proporcionará, en la medida compatible con los controles nacionales de exportación, una notificación del exportador a las autoridades mencionadas anteriormente, que decidirán si es apropiado o no hacer que la exportación en cuestión esté sujeta a autorización.

8. Sería bienvenida la adhesión de todos los Estados a estas Directrices en interés de la paz y la seguridad internacionales.

# Apéndice II

## Unidades, constantes, siglas y abreviaturas

Apéndice II - Unidades, constantes, siglas y abreviaturas utilizadas en este anexo

ABEC	Annular Bearing Engineering Committee	ABMA American Bearing Manufacturers Association
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute)	
Angstrom	$1 \times 10^{-10}$ metros	
ASTM	American Society for Testing and Materials	bar unidad de presión
°C	Grados Celsius	
cc	Centímetro cúbico	
CAS	Servicio de Resúmenes de Artículos sobre Temas Químicos (Chemical Abstracts Service)	
CEP	Círculo de igual probabilidad	
dB	decibelios	
g	gramo; también, aceleración debido a la gravedad	
GHz	gigahercios	
GNSS	Sistema global de navegación por satélite, por ejemplo, "Galileo" 'GLONASS' – Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema 'GPS' – Sistema de posicionamiento global	
h	hora	
Hz	hertzios	
HTPB	Polibutadieno terminado en hidroxilo	
OACI (ICAO)	Organización de Aviación Civil Internacional (International Civil Aviation Organisation)	
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	
IR	Infrarrojo	
ISO	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)	
J	joule	
JIS	Norma industrial japonesa	
K	Kelvin	
kg	kilogramo	
kHz	kilohercios	
km	kilómetro	
kN	kilonewton	
kPa	kilopascal	
kW	kilovatios	
m	metro	
MeV	millones de voltios de electrones o megavoltios de electrones	
MHz	megahercios	
Milligal	$10^{-5} \text{ m/s}^2$ (también llamado mGal, mgal o milligalileo)	
mm	milímetro	
mm Hg	mm de mercurio	
MPa	megapascal	
mrad	milliradián	
ms	milisegundos	
µm	micrómetro	

## Manual anexo del Régimen de Control de Tecnología de Misiles (MTCR) - 2017

N	newton
Pa	pascal
ppm	partes por millón
rads (Si) radiación	dosis absorbida por
RF	radiofrecuencia
rms	raíz media del cuadrado
rpm	revoluciones por minuto
RV	vehículos de reentrada
s	segundo
Tg	temperatura de transición vítrea
Tyler	tamaño de malla Tyler o serie de tamices estándar de Tyler
UAV	vehículo aéreo no tripulado
UV	ultravioleta

## Apéndice III Tabla de conversiones

Apéndice III - Tabla de conversiones

Tabla de conversiones utilizadas en este anexo		
Unidad (desde)	Unidad (hasta)	Conversión
bar	pascal (Pa)	1 bar = 100 kPa
g (gravedad)	m/s <sup>2</sup>	1 g = 9,806 65 m/s <sup>2</sup>
mrاد (milirad)	grados (ángulo)	1 mrاد ≈ 0,0573°
rads	ergios/gramo de Si	1 rad (Si) = 100 ergs/gramo de silicio (= 0,01 gris [Gy])
Malla Tyler 250	mm	para una malla Tyler 250, malla apertura 0,063 mm

# Anexo de Declaración de Entendimiento

## Anexo - Declaración de Entendimiento

### Declaración de Entendimiento

Los miembros acuerdan que, en aquellos casos en que el término "equivalentes nacionales" se permita específicamente como alternativas a las Normas Internacionales especificadas, los métodos y parámetros técnicos incorporados en el equivalente nacional garantizarían que se cumplan los requisitos del estándar establecido por las Normas Internacionales especificadas.



Anexo del MTCR -  
Introducción, definiciones y  
terminología

## Anexo del MTCR - Introducción, definiciones y terminología

### 1. Introducción

- (a) Este anexo consta de dos categorías de elementos, cuyo término incluye equipo, materiales, "programas informáticos" o "tecnología". Los artículos de la Categoría I, todos los cuales están en los artículos 1 y 2 del anexo, son aquellos de mayor sensibilidad. Si se incluye un elemento de Categoría I en un sistema, ese sistema también se considerará como Categoría I, excepto cuando el elemento incorporado no se pueda separar, eliminar o duplicar. Los artículos de la Categoría II son aquellos artículos en el Anexo no designados como la Categoría I.
- (b) El gobierno tendrá en cuenta la capacidad de intercambiar "alcance" y "carga útil" al revisar las solicitudes propuestas para transferencias de cohetes completos y sistemas de vehículos aéreos no tripulados descritos en los Artículos 1 y 19, y de equipos, materiales, "programas informáticos" o "tecnología" que se enumeran en el Anexo Técnico, para uso potencial en dichos sistemas.

(c) **Nota general de tecnología:**

La transferencia de "tecnología" directamente asociada con cualquier producto controlado en el Anexo se controla de acuerdo con las disposiciones de cada Artículo en la medida permitida por la legislación nacional. La aprobación de cualquier artículo del Anexo para la exportación también autoriza la exportación al mismo usuario final de la "tecnología" mínima requerida para la instalación, operación, mantenimiento y reparación del artículo.

**Nota:**

*Los controles no se aplican a la "tecnología" "de dominio público" ni a la "investigación científica básica".*

(d) **Nota general de programas informáticos:**

El Anexo no controla los "Programas informáticos" que:

1. Está generalmente disponible al público al:
  - a. Venderse sin stock en puntos de venta minorista sin restricciones, por medio de:
    1. Transacciones de venta libre;
    2. Transacciones de pedidos por correo; o
    3. Transacciones electrónicas; o
    4. Transacciones de llamadas telefónicas; y
  - b. Diseñado para que el usuario lo instale sin el apoyo adicional del proveedor; o
2. "En el dominio público"

**Nota:**

*La Nota general sobre programas informáticos solo se aplica a los "Programas informáticos" de mercado general de uso general.*

**(e) Nota general sobre programas informáticos mínimos:**

La aprobación de cualquier artículo del Anexo para exportación también autoriza la exportación o transferencia al mismo usuario final de los "programas informáticos" mínimos, excluyendo el código fuente, requerido para la instalación, operación, mantenimiento o reparación del artículo con el fin de garantizar operación segura del artículo según lo previsto originalmente.

**Nota:**

*La Nota general sobre programas informáticos mínimos también autoriza la exportación de "programas informáticos" destinados a corregir defectos (correcciones de errores) en un artículo previamente exportado legalmente, siempre que la capacidad y/o el rendimiento del artículo no se mejoren de otra manera.*

**(f) Números del Chemical Abstracts Service (CAS):**

En algunos casos, los productos químicos se enumeran por nombre y número CAS. Los productos químicos de la misma fórmula estructural (incluidos los hidratos) se controlan independientemente de su nombre o número CAS. Se muestra que los números CAS ayudan a identificar si un producto químico o mezcla en particular se controla, independientemente de la nomenclatura. Los números CAS no se pueden usar como identificadores únicos porque algunas formas del químico listado tienen números CAS diferentes, y las mezclas que contienen un químico listado también pueden tener números CAS diferentes.

## 2. Definiciones

A los efectos del presente Anexo, se aplican las siguientes definiciones:

### "Exactitud"

Generalmente medida en términos de inexactitud, significa la desviación máxima, positiva o negativa, de un valor indicado de un estándar aceptado o valor verdadero.

### "Investigación científica básica"

Trabajo experimental o teórico realizado principalmente para adquirir un nuevo conocimiento de los principios fundamentales de los fenómenos o hechos observables, no dirigido principalmente a un objetivo u objetivo práctico específico.

### "Desarrollo"

Está relacionado con todas las fases previas a la "producción", tales como:

- diseño
- investigación de diseño
- análisis de diseño
- conceptos de diseño
- montaje y prueba de prototipos
- esquemas de producción piloto
- datos de diseño
- proceso de transformar datos de diseño en un producto
- diseño de configuración
- diseño de integración
- diseños

### "En el dominio público"

Esto significa "programas informáticos" o "tecnología" que se ha puesto a disposición sin restricciones sobre su posterior difusión. (las restricciones derivadas del derecho de propiedad intelectual no impiden que la "tecnología" o los "programas informáticos" se consideren "de conocimiento público").

### "Microcircuito"

Un dispositivo en el que una serie de elementos pasivos y/o activos se consideran indivisiblemente asociados en o dentro de una estructura continua para realizar la función de un circuito.

### "Microprogramas"

Una secuencia de instrucciones elementales mantenidas en un almacenamiento especial, cuya ejecución se inicia mediante la introducción de su registro de instrucciones de referencia.

### "Carga útil"

La masa total que puede transportar o entregar el sistema de cohete especificado o el sistema de vehículo aéreo no tripulado (UAV) que no se utiliza para mantener el vuelo.

## Nota:

El equipo, subsistemas o componentes particulares que se incluirán en la "carga útil" dependen del tipo y la configuración del vehículo en consideración.

## Notas técnicas:

### 1. Misiles balísticos

#### a. La "carga útil" para sistemas con vehículos de reentrada (RV) de separación incluye:

1. Los RV, incluyendo:
  - a. Equipo de guía, navegación y control dedicado;
  - b. Equipos de contramedidas dedicados;
2. Municiones de cualquier tipo (por ejemplo, explosivas o no explosivas);
3. Estructuras de soporte y mecanismos de despliegue para las municiones (por ejemplo, equipo informático utilizado para unir o separar el RV del vehículo de bus/post-boost) que se pueden quitar sin violar la integridad estructural del vehículo;
4. Mecanismos y dispositivos para salvaguardar, armar, detonar o disparar;
5. Cualquier otro equipo de contramedidas (por ejemplo, señuelos, inhibidores o dispensadores de chaff) que se separan del vehículo de bus/post-boost del RV;
6. El vehículo de bus/post-boost o el módulo de control de actitud/velocidad no incluye sistemas/subsistemas esenciales para la operación de las otras etapas.

#### b. La "carga útil" para sistemas con vehículos de reentrada sin separación incluye:

1. Municiones de cualquier tipo (por ejemplo, explosivas o no explosivas);
2. Estructuras de soporte y mecanismos de despliegue para las municiones que se pueden quitar sin violar la integridad estructural del vehículo;
3. Mecanismos y dispositivos para salvaguardar, armar, detonar o disparar;
4. Cualquier equipo de contramedidas (por ejemplo, señuelos, inhibidores o dispensadores de chaff) que se puedan retirar sin violar la integridad estructural del vehículo.

### 2. La "carga útil" de vehículos de lanzamiento espacial incluyen:

- a. Nave espacial (simple o múltiple), incluidos satélites;
- b. Adaptadores de vehículos para el lanzamiento de naves espaciales, incluidos, si corresponde, motores de apogeo/perigeo o sistemas de maniobra y sistemas de separación similares.

### 3. La "carga útil" de los cohetes de sondeo incluye:

- a. Equipo requerido para una misión, como dispositivos de recopilación, grabación o transmisión de datos para datos específicos de la misión;
- b. Equipo de recuperación (por ejemplo, paracaídas) que se puede quitar sin violar la integridad estructural del vehículo.

4. La "carga útil" de los *misiles de crucero* incluye:
- Municiones de cualquier tipo (por ejemplo, explosivas o no explosivas);*
  - Estructuras de soporte y mecanismos de despliegue para las municiones que se pueden quitar sin violar la integridad estructural del vehículo;*
  - Mecanismos y dispositivos para salvaguardar, armar, detonar o disparar;*
  - Equipos de contramedidas (por ejemplo, señuelos, inhibidores o dispensadores de chaff) que se puedan retirar sin violar la integridad estructural del vehículo;*
  - Equipo de alteración de firma que se puede quitar sin violar la integridad estructural del vehículo.*
5. "Carga útil" de *otras UAV* incluye:
- Municiones de cualquier tipo (por ejemplo, explosivas o no explosivas);*
  - Mecanismos y dispositivos para salvaguardar, armar, detonar o disparar;*
  - Equipos de contramedidas (por ejemplo, señuelos, inhibidores o dispensadores de chaff) que se puedan retirar sin violar la integridad estructural del vehículo;*
  - Equipo de alteración de firma que se puede quitar sin violar la integridad estructural del vehículo.*
  - Equipo requerido para una misión, como dispositivos de recopilación, grabación o transmisión de datos para datos específicos de la misión y estructuras de soporte que pueden eliminarse sin violar la integridad estructural del vehículo;*
  - Equipo de recuperación (por ejemplo, paracaídas) que se puede quitar sin violar la integridad estructural del vehículo.*
  - Municiones que soportan estructuras y mecanismos de despliegue que se pueden quitar sin violar la integridad estructural del vehículo.*

## "Producción"

Significa todas las fases de producción, tales como:

- ingeniería de producción
- fabricación
- integración
- montaje
- inspección
- pruebas
- seguro de calidad

## "Equipo de producción"

Significa herramientas, modelos, plantillas, mandriles, moldes, matrices, accesorios, mecanismos de alineación, equipos de prueba, otra maquinaria y componentes para ellos, limitados a aquellos especialmente diseñados o modificados para "desarrollo" o para una o más fases de "producción".

## "Medios de producción"

son los "equipos de producción" y los programas informáticos diseñados especialmente para ellos que estén integrados en instalaciones para el "desarrollo" o para una o más fases de la "producción".

## "Programas"

Una secuencia de instrucciones para llevar a cabo un proceso o convertible en un formulario ejecutable por una computadora electrónica.

## "Resistentes a la radiación"

Significa que el componente o equipo está diseñado o clasificado para soportar niveles de radiación que cumplen o exceden una dosis de irradiación total de  $5 \times 10^5$  rads (Si).

## "Alcance"

La distancia máxima que el sistema de cohete especificado o el sistema de vehículo aéreo no tripulado (UAV) es capaz de viajar en el modo de vuelo estable medido por la proyección de su trayectoria sobre la superficie de la Tierra.

### Notas técnicas:

1. *La capacidad máxima basada en las características de diseño del sistema, cuando está completamente cargado con combustible o propulsante, se tendrá en cuenta al determinar el "alcance".*
2. *El "alcance" tanto para los sistemas de cohetes como para los sistemas de UAV se determinará independientemente de cualquier factor externo, como restricciones operativas, limitaciones impuestas por telemetría, enlaces de datos u otras restricciones externas.*
3. *Para los sistemas de cohetes, el "alcance" se determinará utilizando la trayectoria que maximiza el "alcance", suponiendo una atmósfera estándar de la OACI con viento cero.*
4. *Para los sistemas de UAV, el "alcance" se determinará para una distancia unidireccional utilizando el perfil de vuelo más eficiente en combustible (por ejemplo, velocidad y altitud de crucero), suponiendo que la atmósfera estándar de la OACI sea con viento cero.*

## "Programas informáticos"

Una colección de uno o más "programas" o "microprogramas" fijados en cualquier medio tangible de expresión.

## "Tecnología"

Significa información específica que se requiere para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de un producto. La información puede adoptar la forma de "datos técnicos" o "asistencia técnica".

## "Asistencia técnica"

Puede tomar formas como:

- instrucción
- habilidades
- formación
- conocimiento de trabajo
- servicios de consultoría

## "Datos técnicos"

Puede tomar formas como:

- planos
- planes
- diagramas
- modelos
- fórmulas
- diseños de ingeniería y especificaciones
- manuales e instrucciones escritas o grabadas en otros medios o dispositivos como:
  - disco
  - cinta
  - memorias de solo lectura

## "Utilización"

Medios:

- una operación
- instalación (incluida la instalación en el sitio)
- mantenimiento
- reparación
- revisión
- reacondicionamiento



### 3. Terminología

Cuando los siguientes términos aparecen en el texto, deben entenderse de acuerdo con las explicaciones a continuación:

- (a) "Especialmente diseñado" describe equipos, piezas, componentes, materiales o "programas informáticos" que, como resultado del "desarrollo", tienen propiedades únicas que los distinguen para ciertos propósitos predeterminados. Por ejemplo, un equipo que está "especialmente diseñado" para su uso en un misil solo se considerará si no tiene otra función o uso. Del mismo modo, un equipo de fabricación "especialmente diseñado" para producir un cierto tipo de componente solo se considerará si no es capaz de producir otros tipos de componentes.
- (b) "Diseñado o modificado" describe equipos, piezas o componentes que, como resultado del "desarrollo" o modificación, tienen propiedades específicas que los hacen aptos para una aplicación en particular. Los equipos, piezas, componentes o "programas informáticos" "diseñados o modificados" se pueden utilizar para otras aplicaciones. Por ejemplo, una bomba recubierta de titanio diseñada para un misil puede usarse con fluidos corrosivos que no sean propulsantes.
- (c) "Utilizable en", "utilizable para", "utilizable como" o "capaz de" describe equipos, piezas, componentes, materiales o "programas informáticos" que son adecuados para un propósito particular. No es necesario que el equipo, partes, componentes o "programas informáticos" se hayan configurado, modificado o especificado para el propósito particular. Por ejemplo, cualquier circuito de memoria de especificación militar sería "capaz de" operar en un sistema de guía.
- (d) "Modificado" en el contexto de "programas informáticos" describe los "programas informáticos" que se han cambiado intencionalmente, de manera que tienen propiedades que los hacen aptos para fines o aplicaciones específicos. Sus propiedades también pueden hacerlo adecuado para fines o aplicaciones distintas de aquellas para las que fue "modificado".

Categoría I - Artículo 1  
Sistemas completos de  
entrega

## Categoría I - Artículo 1: Sistemas completos de entrega

### 1.A. Equipos, ensamblajes y componentes

1.A.1. Sistemas completos de cohetes (incluidos misiles balísticos, vehículos de lanzamiento espacial y cohetes sonoros) capaces de entregar al menos una "carga útil" de 500 kg a un "alcance" de al menos 300 km.

- Brasil
- China
- Francia
- India
- Israel
- Japón
- Pakistán
- Corea del Sur
- Siria
- Reino Unido
- Canadá
- Egipto
- Alemania
- Irán
- Italia
- Corea del Norte
- Federación Rusa
- España
- Ucrania
- Estados Unidos

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los sistemas completos de cohetes son misiles autónomos y vehículos de lanzamiento que transportan combustible y oxidante internamente y aceleran sus cargas útiles a alta velocidad. Después de que se gasten los propulsores ("agotamiento"), la carga útil para muchos sistemas continúa en una trayectoria balística predominantemente sin alimentación, ya sea en órbita o en un objetivo en la tierra. Dependiendo de su alcance y trayectoria, un cohete puede o no abandonar la atmósfera.

Los sistemas completos de cohetes generalmente consisten en cuatro elementos: (1) la carga útil u ojiva; (2) uno o más subsistemas de propulsión para acelerar la carga útil a la velocidad requerida; (3) un sistema de guiado y control, que navega y dirige el vehículo del cohete a lo largo de una trayectoria planificada a un destino predeterminado (sin embargo, no todos los cohetes son guiados); y (4) elementos estructurales que mantienen todo unido.

La evaluación de los sistemas cubiertos por este Artículo debe tener en cuenta la capacidad de intercambiar la carga útil y el alcance. La capacidad inherente de un misil puede diferir significativamente de las especificaciones del fabricante o del concepto operativo previsto. Por ejemplo, un vehículo de lanzamiento espacial especificado para entregar pequeños satélites (menos de 500 kg) en órbita podría ser capaz de enviar más de 500 kg a distancias mayores de 300 km, excediendo los criterios de control.

**Método de operación:** La propulsión de cohetes funciona expulsando la materia a bordo en la dirección opuesta al movimiento de misil deseado (conservación del momento). Se logra un alto rendimiento en velocidad y distancia cuando el escape se expulsa a alta velocidad y la parte restante del misil tiene una masa baja en comparación con la masa total expulsada. Las altas velocidades de escape están correlacionadas con la combustión a alta temperatura de los propulsores. Estos pueden ser sólidos, líquidos o un híbrido de los dos, dentro del misil, mientras que en todos los casos el escape consiste en gases calientes. Lograr una masa baja para las partes restantes del misil requiere técnicas de minimización de peso, como la utilización de motores livianos y estructuras eficientes hechas de materiales de alta resistencia.

Los sistemas y subsistemas completos de cohetes se verifican para determinar su disponibilidad operativa antes del lanzamiento, y el plan o trayectoria de vuelo se programa en una computadora de guiado a bordo, que controla y dirige el cohete para mantener la trayectoria correcta. El tiempo total de vuelo, la velocidad de reingreso y el rango de los sistemas de cohetes se pueden manipular alterando la trayectoria planificada.

Los misiles balísticos tienen tres fases principales de vuelo: la "fase de impulso" o la "fase de ascenso", la "fase intermedia" y la "fase terminal". Durante la fase de impulso, los propulsores líquidos o sólidos generan empuje para lanzar el misil y acelerarlo a una velocidad máxima. Los misiles de mayor alcance generalmente tienen múltiples etapas: cada etapa termina su empuje cuando su combustible se gasta o ya no es necesario y se separa del resto del cohete, y la siguiente etapa se enciende.



Imagen 1: El lanzamiento de un vehículo de lanzamiento espacial. (ULA – Carleton Bailie)

Para esos misiles balísticos que abandonan la atmósfera, durante la "fase de mitad de curso", el misil se está apagando después del impulso hasta el punto de reingreso a la atmósfera. En la parte inicial de esta fase, el misil continuará aumentando en altitud hasta el apogeo (el punto más alejado de la tierra). Si el misil lleva múltiples ojivas, generalmente se liberan o expulsan durante esta fase. Es posible que algunas ojivas no se expulsen hasta poco antes de que el misil vuelva a entrar en la atmósfera, y en algunos casos, la carga útil permanece unida al cuerpo del misil a medida que vuelve a entrar en la atmósfera.

Si la ojiva se separa del cuerpo del misil, se transportará dentro de un vehículo de reentrada (RV). El RV se transportará dentro de un conjunto de carga útil, que puede incluir múltiples ojivas y RV. En los misiles equipados con múltiples vehículos de reentrada con objetivos independientes (MIRV), los vehículos recreativos serán transportados por un vehículo posterior al impulso, que tiene su propia capacidad de propulsión para que pueda moverse en el espacio y desplegar cada vehículo recreativo contra su propio objetivo designado.

La "fase terminal" se refiere a la parte de la trayectoria después de que el misil o las ojivas han vuelto a entrar en la atmósfera (por debajo de los 120 km de altitud).

Debe tenerse en cuenta que, si bien algunos sistemas pueden haber enumerado umbrales de carga útil y/o rango que caen por debajo de los requisitos mínimos de 300 km y 500 kg para esta categoría, es posible sacrificar la carga útil por un mayor rango o rango por una mayor carga útil. Los ajustes de rango y carga útil se pueden lograr aumentando o disminuyendo la cantidad de propulsores transportados o mediante otras modificaciones. Dichos cambios pueden hacer que el artículo en cuestión quede fuera de las especificaciones del fabricante o del concepto operativo previsto.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los vehículos de lanzamiento espacial y los cohetes de sondeo se utilizan para colocar satélites en órbita o para recopilar datos científicos en la atmósfera superior, respectivamente. Las diferencias críticas entre estos sistemas y los misiles balísticos ofensivos son sus cargas útiles y el uso previsto. Con la adición de una carga útil de armas y diferentes algoritmos de guiado, los vehículos de lanzamiento espacial y los cohetes de sondeo pueden usarse como misiles balísticos. De hecho, muchos vehículos de lanzamiento espacial se han desarrollado y comparten componentes con misiles balísticos.

Varios misiles balísticos operacionales se han utilizado como vehículos de lanzamiento espacial. Los cohetes de sondeo, como los misiles balísticos, no alcanzan la órbita, pero sus algoritmos y trayectorias de guiado pueden ser muy diferentes, en ausencia de un objetivo de rango descendente particular.

**Otros usos:** N/C



Imagen 2: Un propulsante sólido, un submarino lanzó misiles balísticos. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

**Apariencia (como se fabrica):** Los sistemas completos de cohetes son cilindros grandes, largos y estrechos. Cuando se ensamblan, estos sistemas suelen tener dimensiones de al menos 8 m de longitud, 0,8 m de diámetro y 5000 kg de peso, con una carga completa de propulsante. En las Imágenes 1, 2 y 3 se muestran algunas fotos representativas de sistemas de misiles balísticos y vehículos de lanzamiento espacial. Los misiles balísticos lanzados por submarinos (SLBM) pueden ser relativamente anchos y cortos para caber dentro de un submarino (Imagen 2). En el artículo 19.A.1., se muestra un cohete de sondeo, ya que los cohetes de sondeo son típicamente más pequeños que los misiles controlados por el artículo 1.A.1.

La Imagen 4 proporciona una vista ampliada de un misil balístico nacional, que muestra una gama de artículos controlados por el MTCR. Para ilustrar diferentes tipos de cohetes, la primera etapa se muestra con propulsante sólido y la segunda etapa tiene propulsores líquidos.

El extremo delantero, o punta, generalmente tiene un carenado cónico, elíptico o bulboso que alberga la carga útil y se une al cuerpo cilíndrico en el que se encuentran los propulsores. El extremo posterior como es recto, acampanado o con aletas simétricas para una mayor estabilidad durante el lanzamiento y el vuelo atmosférico. El cuerpo del sistema de cohetes aloja los motores de cohetes para propulsores sólidos o tanques y motores para propulsores líquidos. La superficie del sistema de cohetes generalmente está hecha de materiales metálicos o compuestos con materiales absorbentes de calor o recubrimientos protectores. Dependiendo de su uso previsto, algunas superficies pueden estar sin terminar (sin pintar ni recubrir).

**Apariencia (como empaquetado):** Un sistema completo de cohetes rara vez se empaqueta como una unidad completamente ensamblada para su envío desde el fabricante a su punto de uso o almacenamiento. En cambio, los principales subsistemas (etapas) se envían en cajas o contenedores de metal sellados a una instalación de ensamblaje cerca de la ubicación de lanzamiento, donde se ensamblan, se prueba su disponibilidad operativa y se erigen para el lanzamiento vertical. El ensamblaje final a veces se completa con el misil en posición horizontal, mientras que algunos misiles se ensamblan apilando las etapas verticalmente.

Las excepciones incluyen misiles balísticos móviles, que pueden transportarse completamente ensamblados a la ubicación de lanzamiento después del almacenamiento en posición horizontal en un vehículo con ruedas. Tal vehículo puede ser un lanzador de montaje móvil (MEL, un remolque conectado a un vehículo remolcador) o un lanzador de montaje de transportador (TEL, un vehículo largo con su propio motor y transmisión). Un MEL o un TEL tiene un mecanismo para inclinar el misil hacia arriba antes de lanzarlo. Es probable que los misiles móviles estén contenidos dentro de un bote de manera que el misil en sí no quede expuesto hasta que esté listo para su lanzamiento.



Imagen 3: *Izquierda:* Un vehículo de lanzamiento espacial (ISRO). *Derecha:* Road Mobile SS-25, un misil balístico intercontinental (ICBM) de propulsores sólidos de propulsión sólida. (Maxim Shipenkov/AFP/Getty)

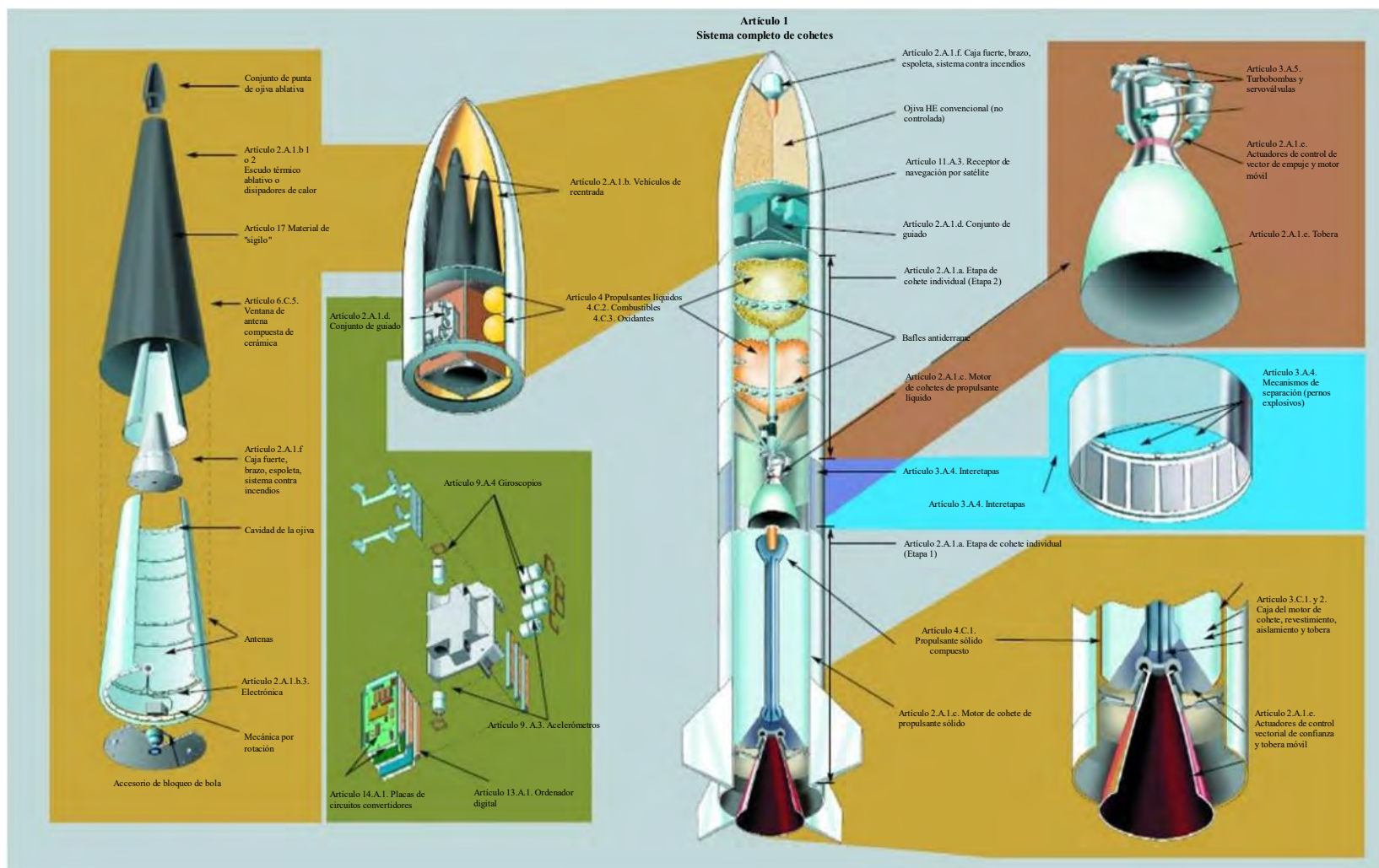


Imagen 4: Vista ampliada de un misil balístico nacional que muestra elementos del Anexo del MTCR. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

1.A.2. Sistemas completos de vehículos aéreos no tripulados (incluidos misiles de crucero, drones objetivo y drones de reconocimiento) capaces de entregar al menos una "carga útil" de 500 kg a un "alcance" de al menos 300 km.

- Australia
- China
- Francia
- Alemania
- Israel
- Pakistán
- Federación Rusa
- Estados Unidos

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los sistemas de vehículos aéreos no tripulados (UAV) suelen ser vehículos que respiran aire y utilizan la elevación aerodinámica para volar (y, por lo tanto, realizan toda su misión dentro de la atmósfera terrestre). Los UAV generalmente funcionan con pequeños motores de turbina o pistón que impulsan hélices libres o con conductos o pequeños motores a reacción (algunos de estos sistemas de propulsión están cubiertos por el Artículo 3 del Anexo del MTCR). Los misiles de crucero suelen operar a altas velocidades subsónicas (menos de 900 km/h), mientras que otros UAV tienden a volar a velocidades entre 360 km/ha 640 km/h.

La evaluación de los sistemas cubiertos por este Artículo debe tener en cuenta la capacidad de intercambiar la carga útil y el alcance. Esta capacidad inherente puede diferir significativamente de las especificaciones del fabricante o del concepto operativo previsto.

Varios de los sistemas de UAV cubiertos en esta sección del MTCR son sistemas grandes capaces de operar a altitudes de aproximadamente 20 000 m, tienen tiempos de resistencia de vuelo de entre 24 y 48 horas y pesos máximos de despegue de entre 2 500 kg y 12 500 kg. Estos sistemas de UAV pueden denominarse UAV de alta resistencia a larga altitud (HALE). Varios UAVs de resistencia larga y media altitud (MALE) también se incluyen en el Artículo 1.A.2.

Existen diversas definiciones de misiles de crucero que pueden volar a gran altitud o cerca del suelo. Otros sistemas de UAV pueden y han sido convertidos para llevar ojivas para atacar objetivos, y como tales son efectivamente misiles de crucero para esa misión específica. A veces también comparten similitudes con los misiles de crucero, como la propulsión de cohetes, la apariencia y la capacidad de recibir y transmitir datos y comandos en vuelo. La diferencia crítica entre los misiles de crucero y otros vehículos aéreos no tripulados es que estos últimos están diseñados para ser reutilizables. Como otros UAV están diseñados para regresar de las misiones, tienden a compartir muchas características con las aeronaves tripuladas, como los mecanismos para un aterrizaje seguro y alas más grandes destinadas a mantener la altitud y mejorar la resistencia.



Imagen 5: Un vehículo aéreo no tripulado (UAV) de alta resistencia y larga resistencia (HALE). (Fuerza aérea de los EE. UU.)



La diferencia fundamental entre los misiles de crucero y los misiles balísticos radica en la altitud de vuelo. Los misiles de crucero generalmente vuelan dentro de la atmósfera inferior (por debajo de 20 km), utilizando la elevación aerodinámica para ganar y mantener altitud. Tienden a ser menos costosos y más pequeños que los misiles balísticos y generalmente tienen orientación durante todo el vuelo. El lanzamiento de un misil de crucero es más difícil de detectar que el de un misil balístico. Hay algunos misiles balísticos que comparten características con los misiles de crucero, como capacidades de guiado adicionales durante el vuelo o trayectorias más bajas, pero generalmente están muy por encima del máximo de 20 km de altitud de los misiles de crucero.

Debe tenerse en cuenta que, si bien algunos sistemas pueden haber enumerado umbrales de carga útil y/o rango que caen por debajo de los requisitos mínimos de 300 km y 500 kg para esta categoría, es posible sacrificar la carga útil por un mayor rango o rango por una mayor carga útil, al aumentar o disminuyendo la cantidad de combustible transportado o mediante otras modificaciones. Esto puede hacer que el artículo en cuestión quede fuera de las especificaciones del fabricante o del concepto operativo previsto.

**Método de operación:** Los sistemas de UAV pueden controlarse en vuelo mediante un sistema de navegación a bordo, que puede volar una ruta preprogramada siguiendo puntos de ruta. Alternativamente, el curso del sistema UAV se puede ajustar en vuelo con comandos de un sistema terrestre, transmitido a través del enlace de datos a bordo. Las estaciones terrestres de UAV incluyen un sistema de control de vuelo (generalmente una consola de joystick) y una serie de monitores y equipos de grabación. Mientras tanto, un sistema de control de vuelo a bordo mantiene el sistema UAV en vuelo controlado, ajustando las superficies de control para mantener la ruta de vuelo deseada.



Imagen 6: Un UAV armado con misiles aire-superficie. (Sistemas Aeronáuticos de General Atomics, Inc.)

Los misiles de crucero utilizan la elevación aerodinámica y vuelan dentro de la atmósfera inferior (menos de 20 km o 65 617 pies de altitud), y pueden cambiar de dirección o altitud en cualquier punto de su trayectoria de vuelo. Estas características, altitudes de operación y maniobrabilidad, son los diferenciadores cruciales entre los misiles de crucero y los misiles balísticos. Sin embargo, al igual que con los misiles balísticos, los misiles de crucero tienen tres fases de vuelo: la fase de impulso, la fase de crucero y la fase terminal. La velocidad durante la fase de crucero puede variar desde Mach 0,5 (610 km/ha nivel del mar) hasta Mach 2,5 (3060 km/ha nivel del mar o 2065 km/ha 15 km de altitud).

Se puede lanzar un misil de crucero desde vehículos terrestres, generalmente conocidos como Transportador-Erector-Lanzador (TEL) desde barcos, desde submarinos o desde aviones. Cuando se lanzan desde tierra y mar, los misiles de crucero utilizarán pequeños propulsores de cohetes para lanzarlos desde sus botes y acelerarlos a la velocidad de vuelo.

Los misiles de crucero tienen la capacidad de volar en múltiples trayectorias y, a menudo, vuelan en misiones planificadas y previamente diseñadas específicamente para derrotar las defensas mediante el enmascaramiento del terreno o la evitación de la defensa, y cada vez más mediante el uso de tecnología de sigilo. La mayoría de los misiles de crucero contienen un sistema de sensores que los guía hacia sus objetivos mediante el uso de características del terreno o firmas de objetivos. Los misiles de crucero utilizan cada vez más sistemas de navegación



Imagen 7: Un misil de crucero operativo en su puesto de salida, que muestra su cono de ojiva modificado para reducir los retornos del radar y mejorar el rendimiento aerodinámico. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

inerciales actualizados por receptores de navegación por satélite además de, o en lugar de, sistemas de navegación asistidos por el terreno para guiarlos a la vecindad del objetivo, donde se activa un sensor terminal para enfocarse en el objetivo. Se utilizan varios tipos de sensores para detectar firmas distintivas del objetivo o para coincidir con escenas preprogramadas del área objetivo. Una vez en el objetivo, el misil de crucero detona la ojiva o, si está equipado, distribuye submuniciones.

Otros sistemas de UAV pueden basarse en una aeronave diseñada específicamente para vuelos no tripulados o pueden ser una modificación de una aeronave tripulada, ya sea de ala fija o helicóptero. Dependiendo de los medios de despegue del UAV, el avión puede ocultarse y lanzarse desde una variedad de ubicaciones, incluidas pistas de aterrizaje resistentes, embarcaciones marítimas o aeropuertos estándar.

Los UAV grandes generalmente están equipados con varios tipos de cargas útiles, que incluyen equipos de sensores, contienen enlaces de aviónica y datos, y están respaldados por un componente terrestre, que consta de elementos de control de misión (MCE) y elementos de lanzamiento y recuperación (LRE), que incluyen una tripulación de personal de tierra de tamaño variado dependiendo de la complejidad y el número de sistemas que requieren operación humana. En las operaciones, la colección del vehículo de vuelo UAV (con cargas útiles y aviónica) y su componente de apoyo en tierra (incluidos MCE y LRE) a menudo se conoce como Sistema Aéreo No Tripulado (UAS).

**Usos típicos relacionados con misiles:** Si bien los sistemas de UAV se implementaron inicialmente con mayor frecuencia para operaciones de reconocimiento, los avances tecnológicos ahora permiten que los UAV transporten cargas útiles mucho mayores a grandes distancias durante largos períodos de tiempo. En consecuencia, muchos UAV ahora están diseñados específicamente como sistemas de misiones múltiples, capaces de realizar una variedad de funciones operativas, que incluyen: inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR); identificación del objetivo; investigación científica y operaciones de combate/entrega de armas.

Los misiles de crucero generalmente se usan específicamente para entregar cargas útiles de armas a una distancia entre 300 km y 5500 km.

**Otros usos:** Algunos vehículos aéreos no tripulados HALE se están utilizando para apoyar una misión para mejorar la trayectoria de huracanes y los pronósticos de intensidad. El UAV HALE puede permanecer sobre patrones climáticos severos durante largos períodos comparables a los de un satélite, pero su proximidad a la tormenta proporciona datos de resolución más fina. En algunos casos, también se están utilizando los UAV MALE para apoyar las misiones de ciencias de la Tierra y el desarrollo avanzado de tecnología aeronáutica.

**Apariencia (como se fabrica):** Muchos sistemas de vehículos aéreos no tripulados, incluidos los drones de objetivos y reconocimiento, a menudo parecen aviones sin cabina para pilotos. Los sistemas de UAV grandes variarán en apariencia debido a sus diseños específicos de roles, pero la mayoría tendrá características comunes, que incluyen grandes (y a menudo delgados) tramos de ala de entre 20 m y 40 m, y cúpulas distintivas hacia el extremo frontal del fuselaje que contiene componentes de aviónica y eléctricos, incluyendo antena de comunicación satelital (SATCOM), antena de transceptor de línea de visión, instrumentos de navegación y sistemas de posicionamiento global (GPS). Los sistemas de UAV armados generalmente tendrán estaciones de ala externas para el transporte de carga útil.

Los sistemas de UAV completos controlados bajo este artículo también pueden incluir aeronaves tripuladas que se modifican para volar de manera autónoma como vehículos pilotados opcionalmente. Tales sistemas generalmente retienen una cabina, que está vacía o llena de equipos electrónicos o carga útil durante el vuelo.



Imagen 8: Una imagen generada por ordenador de un misil de crucero lanzado por aire. (The Boeing Company)

Los misiles de crucero generalmente tienen una sección transversal cilíndrica o en forma de caja y una relación de finura (relación de longitud a diámetro) entre 8 a 1 y 10 a 1. La mayoría tiene superficies de elevación o alas, y la mayoría usa aletas de control en la cola (algunas tienen alerones en las alas y/o canards), aunque la forma y el tamaño de estas superficies dependen en gran medida del régimen de vuelo y la carga útil previstos. Los misiles de crucero también tienden a tener un acabado opaco o recubrimiento para hacerlos más difíciles de detectar, y los diseños avanzados pueden incorporar superficies geométricas especiales para reducir los reflejos del radar. La mayoría de estas características de un misil crucero típico se muestran en la Imagen 8.

**Apariencia (como empaquetado):** Los sistemas de UAV, incluidos los misiles de crucero, se fabrican en componentes o secciones en diferentes ubicaciones y por diferentes fabricantes, y se ensamblan en un sitio militar o en una instalación de producción civil. El tamaño de estas secciones puede variar de menos de 10 kg y de 0,03 m<sup>3</sup> a 150 kg y de 0,1 m<sup>3</sup> a 1 m<sup>3</sup> o más, dependiendo de la clase de UAV.

Los sistemas de UAV grandes pueden desmontarse, empaquetarse y enviarse en cartón pesado o contenedores personalizados; las secciones de tamaño mediano requieren cajas de madera pesadas. Las alas de los UAV grandes se separan del fuselaje y cada sección se embala por separado para su envío por camión, ferrocarril o avión de carga.

La mayoría de los misiles de crucero se envían completamente ensamblados en botes metálicos sellados ambientalmente, que también pueden servir como tubos de lanzamiento. Sus alas a menudo se pliegan dentro o a lo largo del cuerpo del misil, y las aletas de la cola a menudo se pliegan en bisagras longitudinales para encajar dentro del bote de lanzamiento o en la plataforma de lanzamiento y se abren después del lanzamiento para controlar el misil.

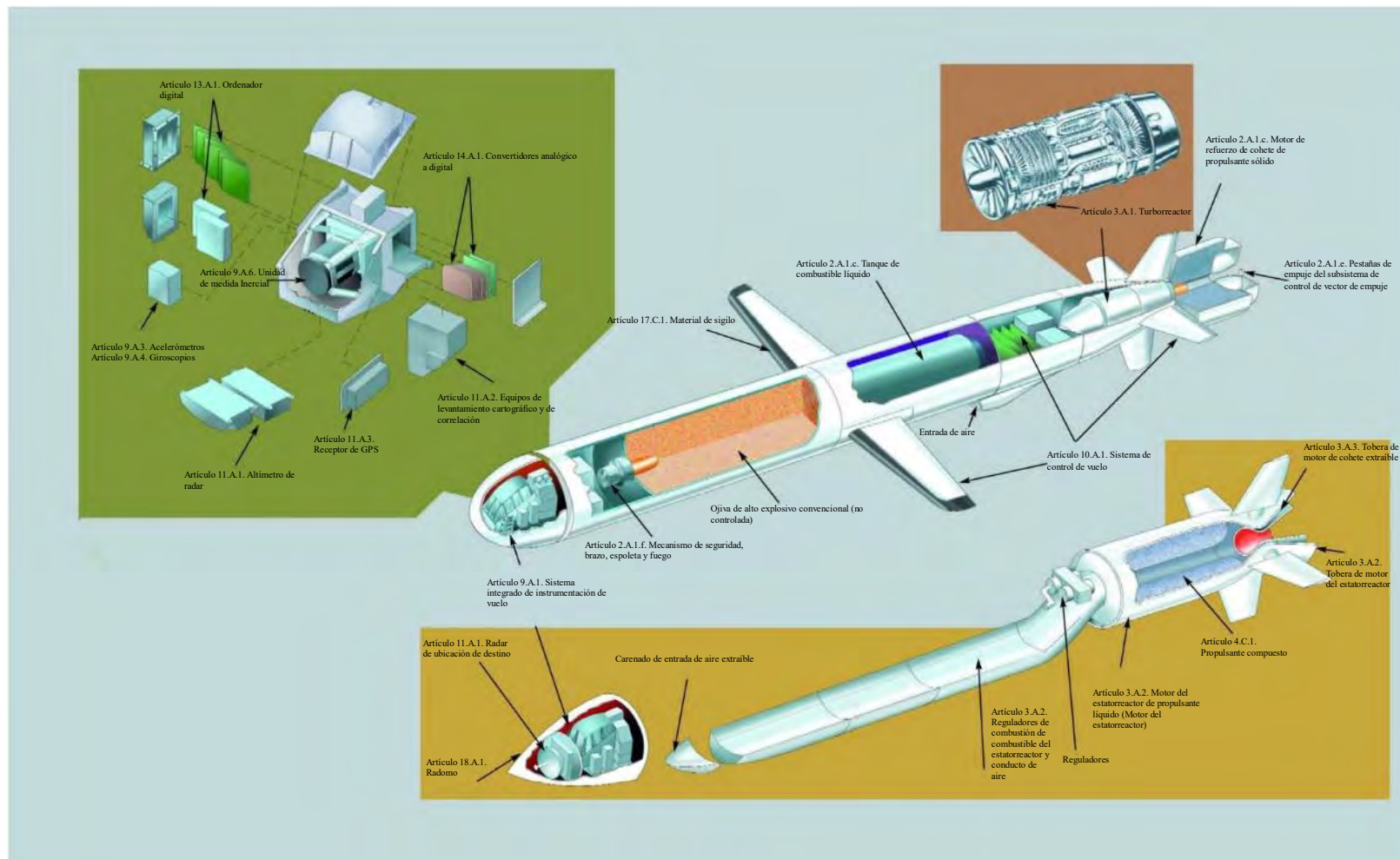


Imagen 9: Vista ampliada de un misil de crucero nacional que muestra elementos del Anexo del MTCR. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

## 1.B. Equipo de prueba y producción

### 1.B.1. "Medios de producción" especialmente diseñados para los sistemas especificados en 1.A.

- Argentina
- Canadá
- Egipto
- Alemania
- Irán
- Italia
- Corea del Norte
- Federación Rusa
- República de Corea
- Suiza
- Reino Unido
- Estados Unidos
- Brasil
- China
- Francia
- India
- Israel
- Japón
- Pakistán
- Sudáfrica
- Suecia
- Ucrania

#### Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los medios de producción especialmente diseñados incluyen todo el equipo especial utilizado para la producción de sistemas completos de cohetes y UAV. Existen muchos tipos diferentes de equipos de producción especialmente diseñados para tales sistemas de entrega que, cuando se integran en instalaciones para desarrollo o producción, constituyen medios de producción. Algunas de las piezas de equipo más grandes en tales medios de producción son las plantillas y accesorios utilizados para garantizar la alineación adecuada de los componentes individuales durante el ensamblaje. Moldes, matrices y mandriles se utilizan ampliamente en todo el proceso de producción. Estos están diseñados para procesos de producción específicos y generalmente son exclusivos de una parte o componente.

**Método de operación:** Las plantillas y accesorios se utilizan para recibir, apoyar, alinear y ensamblar componentes individuales del sistema de entrega. Para los sistemas de cohetes, esto incluye tanques de combustible y oxidantes, cajas de motores y conjuntos de motores. Para sistemas de UAV esto incluye el fuse-

laje, los largueros del ala y los conjuntos del motor. Las grúas aéreas se utilizan para mover los componentes desde sus contenedores de envío y plataformas rodantes a la plantilla de ensamblaje. Los instrumentos de alineación láser a veces se integran en accesorios para garantizar un ajuste de precisión y se utilizan equipos de prueba eléctricos y electrónicos para pruebas funcionales y operativas, según sea necesario durante el proceso de ensamblaje.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los medios de producción se utilizan para ensamblar un sistema completo de misiles a partir de sus subconjuntos y componentes. Al final de cada paso de producción, se realizan pruebas mecánicas y eléctricas de ajuste y función para verificar que el ensamblaje esté listo para el siguiente paso. Después de ensamblar un cohete y pasar todas las pruebas de producción, se puede desmontar en los puntos de rotura del cuerpo prescritos. Estos componentes de misiles separados se cargan en contenedores o cajas individuales para su envío a una instalación para el almacenamiento a largo plazo o al punto de lanzamiento operativo para el montaje y uso final. Sin embargo, los sistemas de UAV, incluidos los misiles de crucero, generalmente se envían completamente ensamblados a unidades operativas (según el tipo de plataforma de lanzamiento) o a depósitos de almacenamiento para almacenamiento a largo plazo.

**Otros usos:** Las plantillas y accesorios de ensamblaje suelen ser elementos de una sola aplicación diseñados para producir un tipo de cohete o sistema de UAV. Por lo general, no es práctico modificarlos para otros usos.

**Apariencia (como se fabrica):** Las plantillas y accesorios de ensamblaje utilizados en la producción de sistemas de misiles (como el que se muestra en la Imagen 10) suelen ser estructuras grandes y pesadas. Su longitud y ancho total son aproximadamente del 20 % al 30 % mayores que el sistema de misiles que están diseñados para ensamblar. Su peso puede totalizar cientos o incluso miles de kilogramos.

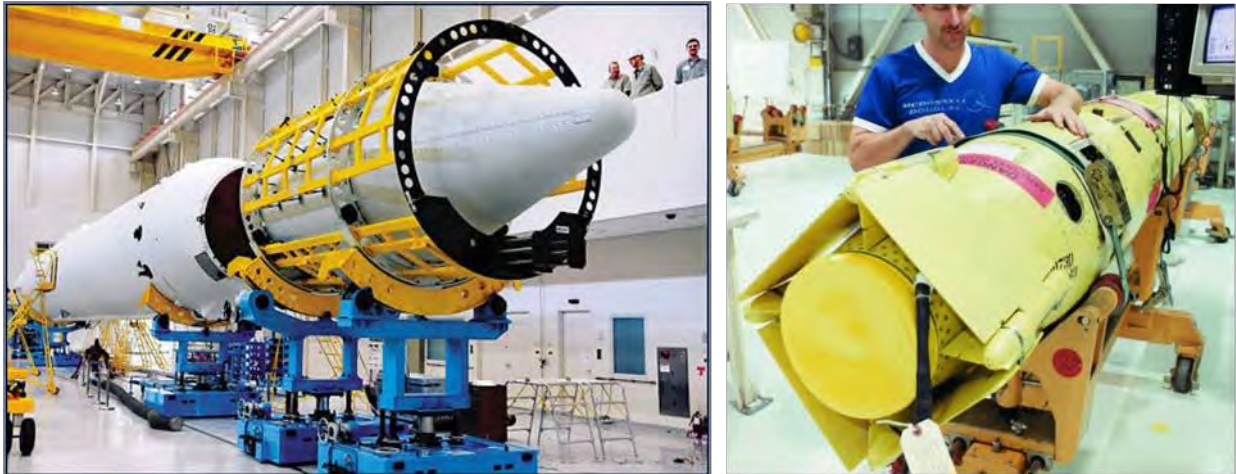


Imagen 10: Izquierda: Un vehículo de lanzamiento espacial en una plantilla de montaje. (Hora de Corea) Derecha: Plantilla modular que soporta un misil de crucero en el ensamblaje final.

**Apariencia (como empaquetado):** Las plantillas de montaje y los accesorios para misiles grandes a menudo son demasiado grandes y pesados para ser empaquetados y enviados a la planta de producción como unidades completas. En cambio, los componentes se envían por separado en cajas grandes o se protegen en palets para su montaje en el sitio. Se sujetarán de forma segura a la caja para restringir el movimiento y evitar daños. Las plantillas más pequeñas pueden empaquetarse individualmente en cajas o palets para su envío. Las grandes fábricas pueden producir plantillas y accesorios de ensamblaje en el sitio como parte de su esfuerzo de fabricación general.

**Información adicional** Las plantillas y accesorios de ensamblaje contruidos para recibir y ensamblar componentes de misiles en una posición horizontal requieren almohadillas o rodillos de superficie contorneada para soportar las partes del cuerpo cilíndrico con una deformación mínima. Los sistemas de ensamblaje que se utilizan para construir un cohete en una posición vertical requieren menos accesorios de soporte del cuerpo, pero deben tener una altura libre elevada dentro del edificio para apilar los componentes y mover un misil completamente ensamblado. Los componentes principales de las plantillas y accesorios de ensamblaje son miembros de acero estructural estándar. Su tamaño y resistencia están dictados por el requisito de soportar y mantener la alineación de los componentes de misiles grandes y pesados durante el montaje.

Las plantillas y accesorios generalmente se ensamblan soldando o atornillando grandes placas de acero y vigas en l o miembros tubulares juntos en el suelo del edificio de ensamblaje de misiles. En algunos casos, estos accesorios están contruidos sobre almohadillas flotantes, no atornilladas al piso; tales almohadillas aíslan la estructura de las vibraciones, lo que de otro modo podría causar una desalineación de sus puntos de referencia de precisión. Los dispositivos de encuesta de precisión se utilizan para garantizar la alineación correcta.

Las plantillas y accesorios para sistemas de UAV varían ampliamente dependiendo de la complejidad del sistema de entrega. Algunos vehículos aéreos no tripulados utilizan métodos de montaje similares a la construcción de un kit de avión con espuma estructural y colocación manual de vidrio o tela de carbono. Los UAV más sofisticados utilizan plantillas y accesorios de producción que se asemejan a la fabricación de aviones tripulados con celdas componentes que alimentan una línea de montaje basada en tracción.

## 1.C. Materiales

Ninguno.

## 1.D. Software

1.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de los "medios de producción" especificados en

- Argentina
- Canadá
- Egipto
- Alemania
- Irán
- Italia
- Corea del Norte
- Federación Rusa
- República de Corea
- Suiza
- Reino Unido
- Brasil
- China
- Francia
- India
- Israel
- Japón
- Pakistán
- Sudáfrica
- Suecia
- Ucrania
- Estados

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los programas informáticos de proceso de los medios de producción abarcan desde rutinas de control numérico utilizadas para la fabricación de componentes hasta sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) que monitorean y controlan las funciones y procesos de toda la planta. Las instalaciones más grandes también pueden emplear un Sistema de ejecución de fabricación (MES) que gestiona todos los aspectos del proceso de fabricación, desde la definición de producción hasta la documentación "tal como está construida". El MES se ubica sobre los sistemas de SCADA y el equipo de control numérico para coordinar los procesos de producción.

**Método de operación:** Las rutinas de control numérico residen en el controlador del equipo automatizado y generalmente realizan una operación específica, como perforar agujeros en una caja del motor. Los sistemas de SCADA integran información del sensor de una variedad de dispositivos analógicos y digitales para coordinar el

flujo del proceso utilizando ordenadores dedicados y controladores lógicos programables. Las instalaciones de populsantes de flujo continuo requieren una medición precisa de ingredientes especializados, como los modifica-

dores de la velocidad de combustión, mientras el propulsante se mezcla y transfiere a las cajas del motor. El MES interactúa con la instalación de producción para programar la producción, realizar un seguimiento del progreso e informar resultados para mantener las operaciones.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los programas informáticos de los medios de producción se instalan en ordenadores que están conectados a equipos de control numérico, sensores y/u otra automatización utilizada para producir componentes de misiles. Ninguno de estos programas informáticos está diseñado para usarse en el ordenador de misiles.

**Otros usos:** Los programas informáticos de MES que se utilizan en medios de producción de misiles también puede emplearse, con modificaciones, para controlar una instalación no relacionada con misiles, fabricar automóviles o para administrar otros procesos industriales donde se requieren tareas precisas y repetibles.

**Apariencia (como se fabrica):** Por lo general, los programas informáticos utilizados en producción toman la forma de un programa de ordenador almacenado en impreso, magnético, óptico u otro medio. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos y documentos puede contener estos programas informáticos y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos y los documentos que contienen programas informáticos de control de producción de misiles no se pueden distinguir de ningún otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que los programas informáticos se ejecuten en el ordenador adecuado. Estos programas informáticos y documentación se pueden transmitir electrónicamente a través de una red informática.



Imagen 11: Programas informáticos en forma de disco de ordenador, cinta de casete y medios escritos. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))



1.D.2. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para coordinar la función de más de un subsistema en sistemas especificados en 1.A.

Nota:

*Para una aeronave tripulada convertida para operar como un vehículo aéreo no tripulado especificado en 1.A.2., el artículo 1.D.2. incluye "programas informáticos", como sigue:*

- a. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para integrar el equipo de conversión con las funciones del sistema de la aeronave;
- b. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para operar la aeronave como un vehículo aéreo no tripulado.

- Argentina
- Brasil
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Portugal
- República de Corea
- Suiza
- Reino Unido
- EE.UU.
- Australia
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Pakistán
- Federación Rusa
- Suecia
- Ucrania

Producción global



**Naturaleza y propósito:** El programa informático utilizado para coordinar la función de múltiples subsistemas en sistemas especificados en 1.A. es típicamente un programa informático de control de vuelo. El programa informático de vuelo incorporado en el ordenador a bordo recopila información de velocidad y posición proporcionada por el sistema de navegación o guiado y la retroalimentación del sistema de control, lo que permite que el ordenador calcule y emita correcciones de dirección a los sistemas de control de vuelo. Este programa informático también determina cuándo realizar otros eventos de vuelo, como el apagado del motor, la puesta en escena y la separación del vehículo de reingreso.

El programa informático utilizado en la conversión de una aeronave tripulada para operar como un UAV generalmente incluye programas informáticos especialmente diseñados para integrar el equipo de conversión

con los sistemas clave de la aeronave y programas informáticos adicionales para operar el UAV convertido. El programa informático de integración permite que el equipo de conversión se comunice con los sistemas clave de la aeronave de manera similar a los comandos de entrada de un piloto. El programa informático de operación puede permitir el control desde el suelo o el vuelo autónomo de la aeronave.

**Método de operación:** El programa informático de vuelo se instala en el ordenador del sistema de misiles y se prueba antes del lanzamiento. Durante la cuenta atrás de lanzamiento, este programa informático se activa y toma el control del proceso de inicio, generalmente con la primera etapa de encendido. Una vez libre de todas las conexiones de señal de la plataforma de lanzamiento, el misil está bajo el control de este programa informático.

Todas las señales de posición o velocidad generadas por el sistema de navegación, así como la retroalimentación del sistema de control se envía al ordenador de vuelo que genera señales correctivas al equipo informático de control de vuelo. Se controlan las presiones del motor y el estado general del sistema. Para los sistemas de cohetes, cuando se detectan la velocidad y la posición requeridas, el sistema de propulsión se apaga. Para los misiles balísticos, cuando las señales de armado son confirmadas por la ojiva, el vehículo de reentrada puede separarse de la célula.

El programa informático de vuelo del sistema de UAV controla el funcionamiento del motor, emite comandos de dirección al sistema de control de vuelo, en función de la información de navegación, y activa la carga útil (cámara, arma, etc.).

**Usos típicos relacionados con misiles:** El programa informático de vuelo se usa tanto en sistemas completos de cohetes como en UAV (para incluir misiles de crucero) para controlar la operación de todos los sistemas de vuelo.

**Otros usos:** Este programa informático está preparado de forma única para tipos individuales de sistemas de cohetes o UAV y, por lo general, no se usa en otros tipos de aplicaciones.

**Apariencia (como se fabrica):** Normalmente, un programa informático que controla más de un subsistema y que está especialmente diseñado o modificado para su uso en sistemas especificados en 1.A. toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este programa informático y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** Cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos, que contienen un programa informático que controla más de un subsistema y que está especialmente diseñado o modificado para su uso en sistemas especificados en 1.A., son indistinguibles de cualquier otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que los programas informáticos se ejecuten en el ordenador adecuado. Este programa informático y esta documentación se pueden transmitir electrónicamente a través de una red informática o Internet.

## 1.E. Tecnología

1.E.1. "Tecnología", de acuerdo con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de equipos o "programas informáticos" en 1.A., 1.B. o 1.D.

**Naturaleza y propósito:** "Tecnología" para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de equipos o "programas informáticos" especificados en 1.A., 1.B. o 1.D. incluye "asistencia técnica" o "datos técnicos". La "asistencia técnica" es la provisión de instrucciones, habilidades, capacitación, conocimiento práctico o servicios de consultoría a un país que desarrolla sistemas de cohetes o UAV. Los "datos técnicos" incluyen, entre otros, fórmulas, planos, informes técnicos o bases de datos informáticas "que no están en el dominio público". El propósito de la "tecnología" es proporcionar a los usuarios finales la capacidad de desarrollar localmente los medios para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos o "programas informáticos" especificados en 1.A., 1.B. o 1.D.

**Método de operación:** La "tecnología" y la "asistencia técnica" están disponibles en muchas formas. La "asistencia técnica" puede consistir en la instrucción brindada por una persona con experiencia en uno o más temas relacionados con elementos controlados (como motores de cohete de propulsante líquido) que actúa como formador en un aula en o cerca del sitio de producción o prueba, o el uso de un servicio de consultoría especializado en la producción de material aeroespacial que dirige la compra de los materiales y equipos adecuados. Un país puede recibir "asistencia técnica" enviando estudiantes a otros países para asistir a la capacitación y practicar las habilidades necesarias para construir sistemas de Categoría I. Los manuales y materiales recibidos durante la capacitación pueden calificar como "datos técnicos".

**Usos típicos relacionados con misiles:** Con una excepción limitada, la "tecnología" requerida para construir sistemas de entrega se usa solo para esos fines. Los cohetes de sondeo utilizados en la investigación del clima, con ajustes en la carga útil y la orientación, pueden convertirse en misiles balísticos. La "tecnología" utilizada en cada dispositivo es muy similar.

**Otros usos:** Algunas "tecnologías" utilizadas para diseñar, fabricar y probar UAV pueden tener funcionalidad en la industria de aviones comerciales o militares.

**Apariencia (como se fabrica):** N/C

**Apariencia (como empaquetado):** N/C

Categoría I - Elemento 2  
Subsistemas completos  
utilizables para entrega  
completa Sistemas

## Categoría I - Artículo 2: Subsistemas completos utilizables para sistemas de entrega completos

### 2.A. Equipos, ensamblajes y componentes

2.A.1. Subsistemas completos utilizables en los sistemas especificados en 1.A., de la siguiente manera:  
a. Etapas de cohetes individuales utilizables en los sistemas especificados en 1.A.;

- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| •Brasil          | •China              |
| •Egipto          | •Francia            |
| •Alemania        | •India              |
| •Irán            | •Irak               |
| •Israel          | •Italia             |
| •Japón           | •Libia              |
| •Corea del Norte | •Pakistán           |
| •Federación Rusa | •República de Corea |
| •Siria           | •Ucrania            |
| •Reino Unido     | •Estados Unidos     |

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Una etapa de cohete generalmente consiste en un motor de cohete sólido o tanques líquidos con motores, junto con varias partes estructurales y componentes del sistema de control. Los motores de cohetes o motores producen un empuje propulsivo para hacer que el cohete se lance y acelere en vuelo. Los propulsores sólidos generalmente se queman hasta el agotamiento una vez que se encienden, mientras que los motores líquidos se pueden apagar para un control de trayectoria más flexible.

Los motores de cohete de propulsante líquido grandes generalmente incluyen bombas de alto rendimiento para que la cámara de combustión y la tobera puedan ser relativamente compactas en virtud de la operación de alta presión, mientras que los tanques grandes permanecen livianos debido a paredes delgadas consistentes con bajas presiones. Por el contrario, las paredes (carcasa) de un motor de cohete sólido deben ser más gruesas para contener altas presiones de combustión. El propulsante sólido es típicamente más denso que los líquidos, y todo el motor del cohete se usa para almacenar el propulsante y actuar como la cámara de

combustión cuando se enciende. Estas características permiten que una etapa sólida de cohete sea compacta, evitando al mismo tiempo una masa estructural excesivamente pesada.

**Método de operación:** Una señal de lanzamiento dispara un encendedor en el propulsante sólido dentro de la parte superior de un motor de cohete sólido, o se abren válvulas para permitir que los propulsores líquidos entren en la cámara de combustión de un motor de cohete donde se queman. De cualquier manera, los gases de alta presión y alta temperatura escapan a velocidades sónicas a través de una garganta estrecha en la parte posterior de la etapa del cohete, luego se aceleran mientras se expanden en una tobera divergente. El impulso de los gases de escape proporciona el empuje para el misil. Los sistemas de cohetes de etapas múltiples descartan las etapas inferiores a medida que queman su propulsante, a fin de perder progresivamente peso innecesario, logrando así un mayor alcance que los sistemas de cohetes de una etapa de tamaño comparable.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Las etapas de cohetes son componentes esenciales de la mayoría de los sistemas de cohetes, incluidos los misiles balísticos. Las etapas de cohete también se utilizan en aplicaciones de prueba de misiles y componentes de misiles.

Una ventaja clave de las etapas de propulsión sólida es la preparación para el lanzamiento, porque el propulsante sólido es parte del motor del cohete tal como se fabrica. Las etapas de cohetes líquidos generalmente requieren más tiempo para prepararse para el lanzamiento, ya que los propulsores en general no se pueden cargar por adelantado para el almacenamiento húmedo a largo plazo.

Las etapas de cohete son utilizadas por los vehículos de lanzamiento espacial para la salida de la tierra, mientras que las etapas completas más pequeñas (etapas superiores) se usan para maniobrar mientras están en órbita o más allá de la órbita terrestre baja.

**Otros usos:** N/C

**Apariencia (como se fabrica):** Etapas sólidas del cohete propulsante (Imagen 12) en el rango de tamaño de interés para MTCR 2.A.1. son cilindros, generalmente de 4 m a 10 m de longitud y de 0,5 m a 4 m de diámetro, y tapados en cada extremo con cúpulas para una contención estructuralmente eficiente de altas presiones. La Imagen 1 muestra una etapa de cohete sólida que se coloca en un vehículo de lanzamiento espacial. El domo delantero generalmente tiene una abertura roscada o tapada para insertar un iniciador. La parte central del domo trasero tiene una tobera cónica unida, o (rara vez) puede haber varias toberas. Los cilindros (cajas de motor) generalmente están hechos de chapa de acero de alta resistencia, un compuesto de fibra enrollada en filamentos en una matriz de resina, o una combinación de ambos, y pueden incluir un material aislante interno como corcho o lámina de goma. Debido a que las etapas sólidas de cohetes fabricadas contienen propulsores de alta densidad, son muy pesadas. El grano propulsante puede ser visible a través de la tobera, en ausencia de revestimientos añadidos.

Las etapas de los cohetes propulsores líquidos generalmente consisten en tanques cilíndricos apilados, uno para combustible y otro para oxidante, que se ilustra más o menos en el esquema de corte para el Artículo 1.A.1., y se muestra externamente en la Imagen 13. Las paredes del tanque de cohetes son de metal delgado, a menudo con refuerzos integrales en el interior (anillos, etc.). Las paredes del tanque también sirven como estructura de etapa. Cada tanque tiene un domo en ambos extremos, rodeado por una estructura adicional que se extiende más allá de los extremos del tanque con el fin de unir los tanques dentro de la etapa (intertanques), y de manera similar para unir las etapas entre sí (interetapas). A veces, el extremo de un tanque es cóncavo y se ajusta cerca del domo convexo de otro tanque.



Imagen 12: Etapa sólida del motor del cohete propulsante que se coloca en un vehículo de lanzamiento espacial (arriba). (Agencia Espacial Europea)

Uno o más motores están en la parte trasera de una etapa de cohete líquido, y cada uno recibe tanto oxidante como combustible a través de grandes tuberías o conductos. Una tobera o toberas de forma cónica están unidas a la parte trasera de cada motor en la salida de la cámara de combustión. Las piezas de propulsión incluyen varias válvulas y tanques pequeños para gases presurizados. Otros elementos de la etapa del cohete son sistemas eléctricos y/o sistemas hidráulicos para control y dirección.

**Apariencia (como empaquetado):** Prácticamente todas las etapas de cohetes se envían en contenedores o accesorios diseñados específicamente para ellos. Las etapas de cohete propulsante sólido más pequeñas se pueden enviar en cajas de madera con ataduras internas y soportes de choque. Las etapas de propulsores sólidos más grandes se envían con mayor frecuencia en contenedores metálicos especialmente diseñados, generalmente de apariencia cilíndrica y a veces llenos de una atmósfera inerte. Las etapas muy grandes se pueden envolver simplemente con una cubierta protectora. Se requieren etapas sólidas de propulsante para cumplir con los requisitos de envío internacional de explosivos y tener las marcas apropiadas. Teniendo en cuenta que las etapas sólidas de los cohetes están casi completamente llenas de propulsante similar a la goma de alta densidad, su masa generalmente excede una tonelada por metro cúbico de volumen de la etapa.

Las etapas de cohete líquido se envían de manera similar o en accesorios especialmente diseñados sin embalaje externo. Debido a que se envían sin propulsores o pirotecnia, se pueden transportar como equipo informático de rutina sin restricciones ni etiquetas de advertencia, y pesan significativamente menos que las etapas de cohetes sólidos. La masa de envío de una etapa de cohete líquido vacío puede ser inferior a 100 kg por metro cúbico de volumen total de la etapa.



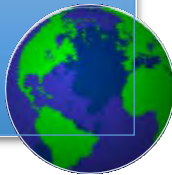
Imagen 13 Izquierda: La primera etapa de un ICBM de combustible líquido. Derecha: Un contenedor de envío para una etapa superior de combustible líquido. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

2.A.1.b. Vehículos de reentrada utilizables en los sistemas especificados en 1.A. y, de la siguiente manera, equipos diseñados o modificados para ellos, excepto lo dispuesto en la Nota a continuación 2.A.1. para aquellos diseñados para cargas útiles sin armas:

1. Escudos térmicos y sus componentes, fabricados con materiales cerámicos o ablativos;
2. Disipadores de calor y componentes para los mismos, fabricados con materiales ligeros y de alta capacidad térmica;
3. Equipos electrónicos especialmente diseñados para vehículos de reentrada;

- China
- Alemania
- Israel
- Reino Unido
- Francia
- India
- Federación Rusa
- EE. UU.

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Mientras que muchos misiles de corto alcance se acercan a sus objetivos como una pieza completa, los misiles de mayor alcance lanzan etapas de cohetes en el camino, dejando que sus ojivas vuelvan a entrar por separado en la atmósfera. Los vehículos de reentrada (RV) son cuerpos de forma cónica de punta afilada a roma (Imagen 14) que albergan y protegen la carga útil de misiles, u ojiva, del alto calor y la vibración experimentada durante la reentrada. Los vehículos de reentrada también llevan el equipo de armado, vapores y disparos que detonará la ojiva cuando alcance el objetivo. Los vehículos de reentrada se liberan de la sección de carga útil del misil y viajan en una trayectoria balística, ingresando a la atmósfera a velocidades entre Mach 2 y 20, dependiendo del alcance. Algunos vehículos de reentrada, conocidos como vehículos de reentrada de maniobras (o

MARV) también llevan equipo de guiado y control que les permite maniobrar para centrarse en objetivos o evitar defensas.



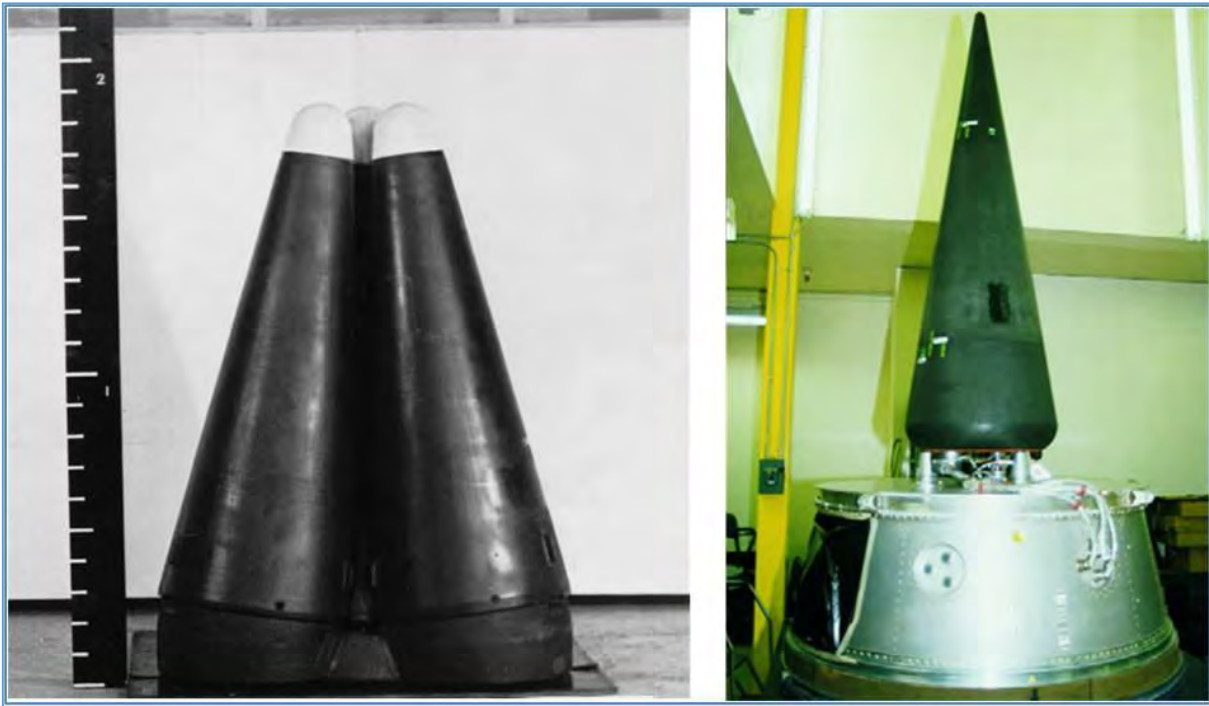


Imagen 14: Izquierda: Tres RV modernos unidos a su brida de montaje. Las aletas pequeñas en el extremo de popa estabilizan el giro de los vehículos de reentrada a medida que vuelven a entrar en la atmósfera. Derecha: Un RV moderno en su mamparo de apoyo de carga útil. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

**Método de operación:** Un misil puede transportar uno o más vehículos de reentrada en su sección delantera o de carga útil. Un solo RV podría ser la punta de un misil. Dos o más vehículos de reentrada, generalmente están cubiertos con una cubierta cónica u ojival más grande o cortaviento que cubre toda la sección de carga útil en la parte superior del misil durante el lanzamiento y el ascenso a través de la atmósfera. Después de que la resistencia al ascenso y el calentamiento disminuyan, la cubierta o cortaviento se desechan. Un sistema de refuerzo posterior que transporta los RV puede orientar secuencialmente cada RV y liberarlo. Los RV reorientados generalmente se hacen girar sobre su eje longitudinal para que vuelvan a entrar en la atmósfera en una actitud giroscópicamente estable, con la punta de ojivas hacia adelante y, por lo tanto, tengan una mayor precisión del objetivo. Los vehículos de reentrada no orientados caen en sus trayectorias durante el reingreso hasta que las fuerzas aerodinámicas los estabilizan con sus puntas de ojivas hacia adelante. La superficie cónica de la punta de ojivas y el RV generalmente están cubiertos con material de protección térmica para resistir el alto calor de reentrada.

Un MARV que utiliza la guía de terminal puede implementar una maniobra a medida que vuelve a entrar en la atmósfera para disminuir su velocidad, y luego se orienta para llevar un sensor al objetivo. Los MARV pueden usar superficies de control, cambiar su forma aerodinámica, cambiar su distribución de peso o usar chorros de reacción para mejorar la precisión o seguir un camino impredecible hacia un sistema de defensa antimisiles. Los vehículos de deslizamiento hipersónicos son un tipo potencial de MARV que ha recibido una mayor atención mundial para la investigación de maniobras aerodinámicas.

**Usos típicos relacionados con misiles:** La función principal de un RV es lograr precisión y proporcionar protección térmica y estructural a la ojiva y al sistema de armado, vaciado y disparo durante el reingreso.

**Otros usos:** Las estructuras de RV destinadas a armas no tienen aplicaciones no militares. Algunos componentes de RV tienen aplicaciones comerciales, especialmente materiales de protección térmica utilizados en hornos, fabricación de acero y motores. Ciertas configuraciones de tipo RV se han utilizado para el regreso de vehículos espaciales tripulados. Los materiales y las tecnologías se superponen, pero estos no han sido diseñados para las condiciones de reingreso requeridas por un sistema de armas. A diferencia de los vehículos de reentrada de misiles, el regreso de las tripulaciones y la carga desde la órbita impone límites estrictos a la desaceleración máxima y a las velocidades terminales. El blindaje térmico necesario a menudo se denomina sistemas de protección térmica (TPS).

**Apariencia (como se fabrica):** Los RV son estructuras de forma cónica (algunas con varios ángulos de cono), generalmente con una punta de ojivas redondeada hemisféricamente. La base o parte trasera del vehículo puede ser hemisférica o menos redondeada. Las aletas pequeñas para la estabilidad aerodinámica se pueden unir en varios lugares en la parte posterior de la superficie cónica. La superficie cónica está cubierta con un escudo térmico, que puede ser de color natural (negro para los escudos térmicos a base de carbono, tostado o amarillo para los escudos a base de sílice) o puede pintarse. Los vehículos de reentrada de tecnología avanzada suelen ser conos largos y delgados con puntas de ojivas (ver Imagen 15). Pueden tener pequeños insertos de cerámica que sirven como ventanas de antena en varios lugares de la superficie cónica. Estos se colocan normalmente cerca de la parte trasera del RV para evitar el calor y la descarga eléctrica.

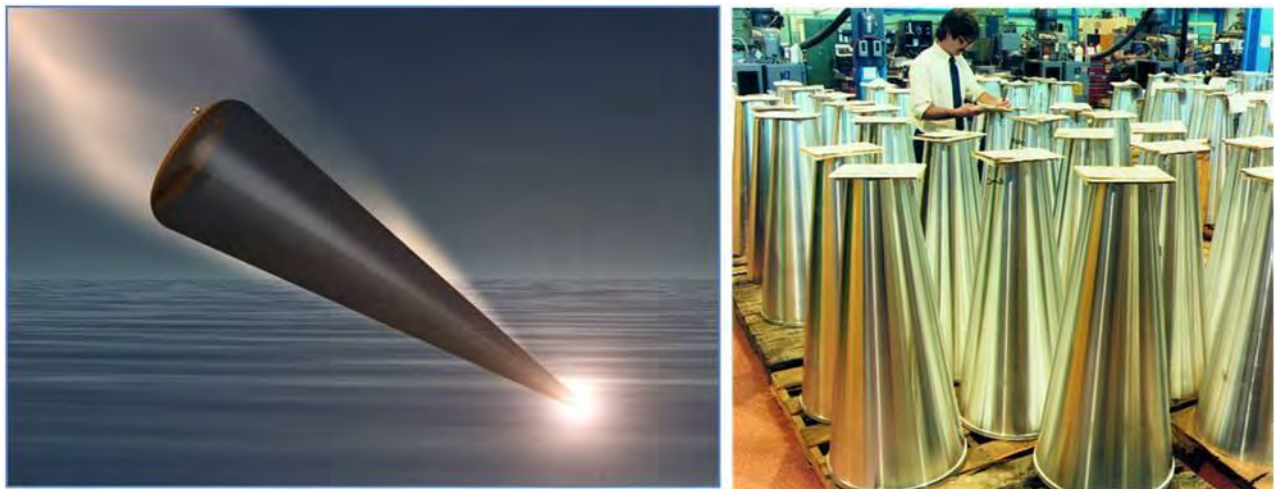


Imagen 15: *Izquierda:* Una representación gráfica de un vehículo de reingreso de misiles balísticos intercontinentales (ICBM). (Fuerza Aérea de EE. UU.) *Derecha:* Modernas secciones medias de RV durante la fabricación. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

Los vehículos de reentrada destinados a misiles con ojivas múltiples suelen tener menos de 3 m de largo y menos de 1 m de diámetro base. Los vehículos de reentrada utilizados en misiles que transportan una sola ojiva a menudo tienen diámetros iguales a los de la etapa superior y, por lo general, tienen longitudes entre 1 m y 4 m. Los vehículos de reentrada, incluidas las ojivas que contienen, generalmente varían en masa desde un poco menos de 100 kg hasta aproximadamente 1000 kg.

La estructura de RV generalmente se fabrica en varias secciones para facilitar la instalación de la ojiva y el mantenimiento en el campo. La sección más adelantada generalmente contiene parte o la totalidad de la electrónica de detonación, la sección central lleva la ojiva y la sección de popa comúnmente contiene temporizadores, electrónica adicional del sistema de armado y el sistema de giro para aquellos vehículos de reentrada que se activan después de su liberación del refuerzo, la plataforma o el bus.

**Apariencia (como empaquetado):** Las secciones de RV generalmente se transportan juntas en contenedores especiales, ya sea de madera o de acero, no mucho más grandes que el propio RV. Están aislados de choque y apo-

yados en varias ubicaciones dentro del contenedor de envío, que pueden ser controladas ambientalmente. En el campo, los vehículos de reentrada reciben un manejo especial porque contienen ojivas. Casi siempre se transportan por separado del refuerzo y se acoplan al refuerzo solo en el sitio de lanzamiento. Si no hay una ubicación de lanzamiento fija, los misiles ya tienen sus RV instalados, por ejemplo, si están destinados a ser móviles o transportados en submarinos.

- China
- Francia
- India
- Israel
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Global  
Producción



#### Escudos térmicos y disipadores térmicos

**Naturaleza y propósito:** A medida que la resistencia atmosférica reduce la velocidad de un objeto de alta velocidad, la energía cinética se convierte en calor. Los protectores térmicos y los disipadores térmicos son superposiciones protectoras que se ajustan a la forma en los vehículos de reentrada. Su propósito principal es proteger la carga útil del RV de la destrucción por las altas temperaturas causadas por la compresión del aire y la fricción cuando el RV vuelve a entrar en la atmósfera.

**Método de operación:** Los protectores térmicos protegen el RV y su carga útil mediante ablación o aislamiento. En el caso de la ablación, el escudo térmico absorbe el calor y su superficie se descompone o vaporiza, transfiriendo calor al flujo de aire que pasa. Este proceso mantiene las capas subyacentes frescas hasta que a su vez están

expuestas a las altas temperaturas. Los disipadores de calor usan su masa para que simplemente absorba el calor de reentrada y, por lo tanto, disminuya la transferencia de calor a la carga útil.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los protectores térmicos o disipadores de calor proporcionan una capa protectora externa para los vehículos de reentrada y pueden servir como capa exterior. Su composición y grosor son una función de la velocidad de reentrada, en sí misma una función del rango operativo del sistema de cohetes. Para rangos de menos de aproximadamente 1000 km, las pieles de acero simples pueden servir como disipadores de calor. Para rangos de más de 1000 km, se requieren protectores térmicos compuestos o disipadores de calor mucho más grandes.

**Otros usos:** Los protectores y componentes térmicos se utilizan en hornos y motores. El equipo utilizado para fabricarlos se puede utilizar para fabricar tubos compuestos para la extracción de petróleo. Los disipadores de calor y la tecnología relacionada tienen muchas aplicaciones comerciales, incluida la producción de energía y la electrónica. Sin embargo, no hay usos comerciales para escudos térmicos o disipadores de calor diseñados para adaptarse a vehículos de reentrada de misiles. El material a base de carbono adecuado para pantallas térmicas también se utiliza para revestir las toberas del motor y en la fabricación de frenos de disco.



Imagen 16: Izquierda: Un dissipador de calor de berilio y cobre. (Museo Nacional Atómico) Derecha: Un prototipo de escudo térmico para usar en vehículos durante el reingreso desde misiones lunares y de órbita terrestre baja. (Boeing)

**Apariencia (como se fabrica):** Los protectores térmicos y los dissipadores de calor generalmente tienen el mismo tamaño y forma que sus vehículos de reentrada subyacentes. En algunos casos, cubren solo la parte delantera del cono de ojiva del RV. Los tamaños para las aplicaciones de misiles varían de 1 m a 3 m de longitud y menos de 1 m de diámetro. Los escudos son generalmente cónicos u ojivales, con puntas puntiagudas o redondeadas. Están unidos al RV o se deslizan sobre él para lograr un ajuste perfecto. Sus superficies a veces muestran articulaciones del cuerpo y pueden tener ventanas de antena instaladas en ellas en uno o más lugares. Estas ventanas permiten que se produzcan transmisiones de radar u otras ondas de radio durante la reentrada. La Imagen 16 ilustra el contraste entre los dissipadores de calor de RV o los escudos, y sus contrapartes para vehículos espaciales cónicos. Los escudos térmicos cubren el extremo cónico de un RV de misiles, mientras que las misiones espaciales comerciales o tripuladas requieren que el escudo térmico esté en el extremo romo de la cápsula espacial de reentrada para garantizar un retorno seguro del espacio.

**Apariencia (como empaquetado):** Los escudos térmicos de misiles de RV, los dissipadores de calor y sus componentes son lo suficientemente pequeños como para ser empaquetados en cajas o cajones de envío convencionales para protección contra daños. Si los protectores térmicos o los dissipadores de calor están unidos al RV, el embalaje debe soportar todo el peso del RV para proteger toda la carga útil contra golpes y vibraciones, así como para proteger la superficie del escudo térmico contra daños durante el envío.

- China
- Francia
- India
- Israel
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Global  
Producción



#### Equipos electrónicos especialmente diseñados para vehículos de reentrada

**Naturaleza y propósito:** Los vehículos de reentrada contienen varios tipos de electrónica. Deben tener un subsistema para proteger, armar, fundir y disparar la ojiva nuclear (el subsistema SAFF). También pueden tener radares, equipos de telemetría, sensores, sistemas de guiado, ordenadores y sistemas defensivos como inhibidores de radar y dispensadores de chaff. Los componentes electrónicos de los vehículos de reentrada se caracterizan por su tamaño relativamente pequeño y su capacidad para soportar la alta temperatura, la alta aceleración y la fuerte vibración que se encuentran tanto durante el lanzamiento de misiles como, especialmente, durante la reentrada a la atmósfera.

Además, los vehículos de reentrada para ojivas nucleares utilizan circuitos protegidos por impulso electromagnético (EMP) y microcircuitos resistentes a la radiación como se describe en los puntos 11.E.1. y 18.A.1., respectivamente.



Imagen 17: Izquierda: Un conjunto de antenas de radar de RV embalado para su envío. Derecha: Una parte de la electrónica del radar RV. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

**Método de operación:** Los muchos tipos diferentes de equipos electrónicos de RV funcionan de manera muy similar a cualquier equipo de aviónica correspondiente; sin embargo, una batería suministra energía para el equipo electrónico de RV. Una fuente de alimentación convierte el voltaje de la batería a lo que sea requerido por los diversos componentes electrónicos dentro del RV. Además, todos los equipos electrónicos a bordo del RV deben estar diseñados para funcionar de manera confiable en entornos hostiles.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Prácticamente todos los componentes electrónicos en los vehículos de reentrada están diseñados específicamente para ellos. Los componentes electrónicos de RV más importantes son los del sistema SAFF; sus funciones se describen en 2.A.1.f. abajo. Otros equipos electrónicos son opcionales y dependen de los requisitos de la misión. Los cables y las conexiones son accesorios ordinarios pero necesarios. Los vehículos de reentrada diseñados para operar en los entornos hostiles de rayos X y neutrones creados por las defensas nucleares deben usar componentes electrónicos y cableado altamente protegidos, que se identifica claramente en las especificaciones de sus productos como capaces de operar en dichos entornos hostiles.

**Otros usos:** Los interruptores barométricos, los acondicionadores de potencia y los relés no diseñados especialmente para vehículos de reentrada se utilizan en la aviación general. El cableado y los conectores estándar (sin endurecimiento nuclear) son comunes a miles de usos finales comerciales. En general, distinguir los equipos electrónicos comerciales de los equipos especialmente diseñados para vehículos de reentrada es difícil porque las diferencias más grandes (endurecimiento nuclear, límites de temperatura y requisitos de vibración) generalmente no son visibles.

**Apariencia (como se fabrica):** Los componentes habituales de un paquete electrónico para vehículos de reentrada no tienen un aspecto notable. La parte más grande y más distintiva es probablemente la batería, que puede tener aproximadamente la mitad del tamaño de una batería de automóvil, pero a menudo es considerablemente más pequeña. La mayoría de los componentes electrónicos restantes son pequeños y generalmente se encuentran en cajas de aluminio. El subsistema SAFF es ensamblado por el fabricante de RV y es poco probable que se obtenga como una unidad preempaquetada. Los diseños de RV muy avanzados pueden usar buscadores activos/pasivos (ra-

dar y sensores ópticos) acoplados a sistemas de control activo y mapas almacenados de las características del objetivo. Tal equipo puede tener una apariencia de disco, cónico o de cono truncado porque está diseñado para encajar perfectamente en un RV. Cualquier indicación de capacidades especiales para soportar altas aceleraciones o vibraciones severas, como almohadillas de aislamiento de choque, puede sugerir una aplicación de misiles.

**Apariencia (como empaquetado):** Las piezas electrónicas de grado militar se empaquetan en bolsas o contenedores sellados que se utilizan para proteger los dispositivos electrónicos de la humedad, los golpes y la electricidad estática. Cajas forradas de espuma, cajones o maletas de metal también se pueden utilizar para el embalaje.

2.A.1.c. Subsistemas de propulsión de cohetes, utilizables en los sistemas especificados en 1.A., como sigue;

1. Motores de cohete propulsante sólido o motores de cohete híbrido con una capacidad de impulso total igual o superior a 1, Motores de cohete propulsante sólido o motores de cohete híbrido con una capacidad de impulso total igual o superior a  $1,1 \times 10^6$  Ns;

2. Motores de cohete de propulsante líquido o motores de cohete de propulsante de gel integrados, o diseñados o modificados para integrarse, en un sistema de propulsión de propulsante de gel o propulsante líquido que tenga una capacidad de impulso total igual o mayor a  $1,1 \times 10^6$  Ns;

**Nota:**

*Los motores de apogeo de propulsante líquido y los motores de mantenimiento de estación especificados en 2.A.1.c.2., diseñados o modificados para su uso en satélites pueden tratarse como Categoría II, si el subsistema se exporta sujeto a declaraciones de uso final y cantidad límites apropiados para el uso final exceptuado mencionado anteriormente, cuando se tiene un empuje de vacío no mayor a 1kN.*

- Brasil
- Egipto
- Alemania
- Irán
- Italia
- Noruega
- Federación Rusa
- Suecia
- Reino Unido
- China
- Francia
- India
- Israel
- Japón
- Pakistán
- República de Corea
- Ucrania
- Estados Unidos

Producción global



**Motores de cohete de propulsante sólido**

**Naturaleza y propósito:** Los motores de cohete propulsante sólido contienen tanto el combustible como el oxidante dentro de una sola carcasa o carcasa del motor. No se necesitan tanques, tuberías, bombas o válvulas porque el combustible y el oxidante se mezclan previamente en la proporción adecuada y se moldean para hacer un grano propulsante, una forma sólida con un núcleo hueco, que se enciende internamente. La carcasa exterior del motor del cohete a menudo sirve como la forma en que se lanza el propulsante. El estuche actúa como un recipiente a presión durante la operación y es el principal miembro estructural que transmite el empuje a la carga útil. Los motores de cohetes sólidos son rentables y de bajo mantenimiento; pueden almacenarse fácilmente durante muchos años y son capaces de desplegarse y lanzarse rápidamente.

**Método de operación:** Una vez encendido, el propulsante se quema sobre su área de superficie expuesta dentro de una cámara hueca que corre por el centro del motor. Los gases calientes en expansión salen del extremo de la tobera a una velocidad muy alta y proporcionan empuje. Por lo general, el propulsante se quema hasta que se agota. Algunos motores tienen la opción de terminar el empuje temprano abriendo agujeros en la carcasa del motor y ventilando los gases por los lados o por la parte superior.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los motores del cohete proporcionan el empuje para acelerar los misiles a la velocidad requerida para alcanzar el objetivo previsto o para operar la siguiente etapa de misiles. El producto requerido de empuje y tiempo (impulso, que es energía cinética) puede lograrse con un gran motor de cohete o con grupos de motores más pequeños, aunque un grupo sería menos efectivo para la misma masa total.

Algunos vehículos de lanzamiento espacial han utilizado motores de cohete propulsante sólido para empuje adicional en las primeras fases de lanzamiento. La elevación de la órbita desde la órbita de transferencia geosíncrona (GTO) a la órbita terrestre geoestacionaria (GEO) a veces se ha logrado con motores de cohetes sólidos denominados "motores de apogeo".

**Otros usos:** Las aplicaciones espaciales de motores de cohetes propulsantes sólidos han incluido el aterrizaje lunar no tripulado (Surveyor circa 1965) y la inserción en órbita en Venus (Magellan 1989). En las instalaciones de prueba, se han utilizado motores de cohetes sólidos para lograr altas aceleraciones y altas velocidades, en particular para empujar trineos cohetes que aceleran un objeto de prueba en una pista a lo largo del suelo.

**Apariencia (como se fabrica):** Los motores de cohetes sólidos de mayor preocupación para la proliferación de misiles aparecen como tubos cilíndricos, a menudo con domos en ambos extremos para la eficiencia estructural en resistir las presiones de operación. Un domo podría tener un pequeño orificio para conectar el iniciador; el otro domo podría tener un orificio más grande para unir la tobera. El iniciador puede o no instalarse antes del envío; si no, el agujero está cubierto por una placa de acero u otro material. La tobera generalmente se adjunta antes del envío y se sella con un tapón ambiental para proteger el propulsante de la humedad y otros efectos ambientales. Este enchufe también evita el acceso visual o físico no autorizado al propulsante en la carcasa del motor.

Cuando se instala, tanto el iniciador como la tobera generalmente están atornillados en su lugar. En la parte superior izquierda de la Imagen 18 se muestra un motor cohete sólido moderno utilizado en vehículos de lanzamiento espacial y completo con una tobera. Se requieren aproximadamente 400 kg de propulsante para lograr el 2.A.1.c. impulso umbral de  $1,1 \times 10^6$  N-s, suponiendo una velocidad de escape de 2750 m/s. Los motores de cohete que contienen esta cantidad de propulsante tendrían aproximadamente 2 m de longitud si el diámetro es de 0,5 m (aproximadamente una tonelada por metro cúbico de volumen de etapa). Un motor de cohete de este tamaño generalmente tendría una caja de acero, aunque son posibles las cajas compuestas de vidrio, carbono o fibra de para-aramida.

**Apariencia (como empaquetado):** Los motores de cohetes sólidos generalmente se envían en contenedores de acero o aluminio o cajones de madera. Los cajones tienen bases en varios puntos para soportar el peso del motor y generalmente están revestidos con espuma o material de amortiguación para proteger el motor durante el envío. Los motores de cohetes a veces se empaquetan en una atmósfera inerte para mantener el propulsante protegido de la humedad. Estos contenedores suelen estar herméticamente sellados, presurizados y fabricados en aluminio. Los límites de almacenamiento de temperatura se indican en las etiquetas para garantizar la longevidad de los motores. Los motores de cohetes sólidos tienen una correa de metal gruesa, generalmente trenzada, con abrazaderas en cada extremo que conduce desde algún lugar de la carcasa del motor a la tierra estática local. Esta correa descarga cualquier acumulación de electricidad estática y ayuda a evitar incendios y explosiones. Cuando se envía, el motor está conectado a tierra al contenedor de envío, y el contenedor está conectado a tierra local.

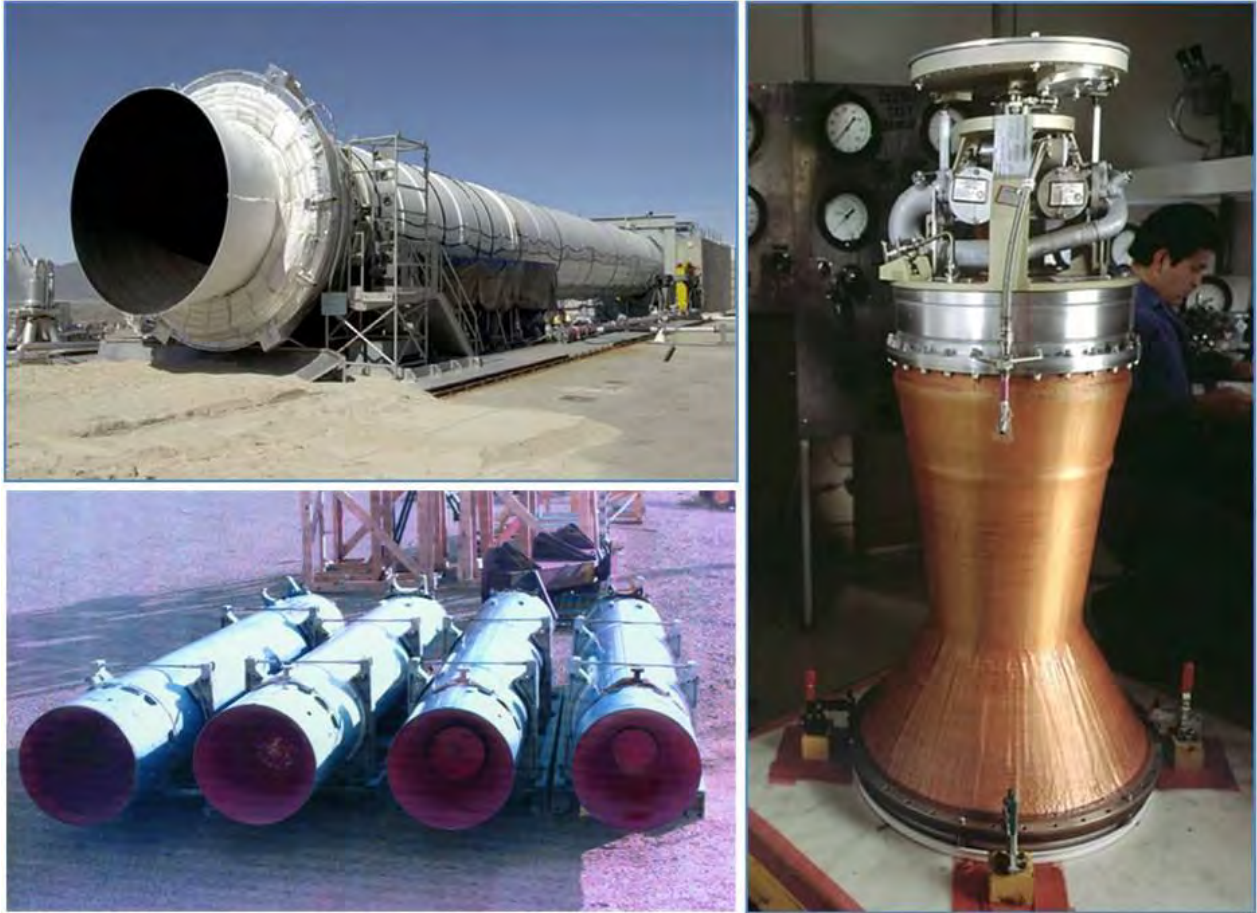


Imagen 18: *Arriba a la izquierda:* Un motor de cohete sólido reutilizable para uso en vehículos espaciales. (ATK) *Abajo a la izquierda:* Motores de cohete propulsante sólido con impulso total cerca del límite inferior del control del Artículo 2. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005)) *Derecha:* Un motor de cohete de propulsante líquido alimentado a presión. (Reactivo)



### Motores cohete propulsantes líquidos

- China
- India
- Japón
- Corea del Norte
- Ucrania
- Estados Unidos
- Francia
- Iraq
- Libia
- Federación Rusa
- Reino Unido

#### Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los motores de cohete propulsante líquido queman combustible y oxidante, que se les suministra desde tanques separados en la proporción adecuada a través de tuberías, válvulas y, a veces, bombas. Por lo tanto, estos motores son mucho más complejos que los motores de propulsión sólidos y pueden contener muchas piezas mecanizadas con precisión y piezas móviles.

A diferencia de los motores de cohetes de propulsante sólido, los motores de cohete de propulsante líquido generalmente se pueden apagar y reiniciar. Algunos motores de cohete de propulsante líquido pueden reutilizarse después de la restauración, mientras que pocos motores de cohetes de propulsante sólido están diseñados para ser reutilizables. Los motores de cohete de propulsante líquido generalmente se

prefieren para vehículos de lanzamiento espacial grandes porque entregan más impulso para una masa de propulsante total dada (más empuje para un flujo de masa dado).

Sin embargo, son más difíciles de fabricar, requieren más mantenimiento y tardan más en prepararse para el lanzamiento que los motores de cohetes de propulsante sólido. El combustible y el oxidante también pueden ser difíciles de manejar y almacenar porque a menudo son tóxicos, corrosivos o criogénicos.

**Método de operación:** Antes del lanzamiento, los tanques de combustible y oxidante deben llenarse con propulsores líquidos y presurizarse con un gas en su cubeta. Los propulsores criogénicos deben fluir a través de las piezas del motor para enfriarlos a temperaturas líquidas antes de la ignición. Si se usa una bomba, se inicia junto con la apertura de las válvulas para permitir que fluyan los propulsores. El combustible y el oxidante son forzados dentro del cabezal del inyector, luego a través de pequeños orificios para mezclar en la cámara de combustión. Un método típico de mezcla es que muchas pequeñas corrientes de combustible líquido y oxidante apunten unas hacia otras en pares justo dentro de la cámara de combustión cerca de la cara del inyector. Al encenderse, la mezcla se vaporiza y se quema por completo, luego los gases calientes y en expansión salen a través de la tobera a una velocidad muy alta para lanzar el misil. Las cargas de empuje se transmiten desde la cámara de combustión a través de varios elementos estructurales que unen el motor a la etapa del cohete.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los motores de cohete proporcionan empuje para acelerar los misiles a la velocidad requerida para alcanzar el objetivo previsto. En una etapa dada de un misil, el empuje requerido se puede lograr con un motor de cohete grande o con varios motores más pequeños. Los motores de cohetes de propulsante líquido más pequeños podrían usarse para maniobrar vehículos de reentrada.

Los motores de cohete de propulsante líquido se usan comúnmente en vehículos de lanzamiento espacial, donde los grandes (por ejemplo, un empuje de un millón de newtons) generalmente tienen bombas para alimentar cámaras de combustión de alta presión desde tanques de baja presión. Las etapas superiores usan motores líquidos que son sucesivamente más pequeños. Es más probable que las terceras etapas utilicen presiones de tanque más altas y presiones de combustión más bajas, para evitar la complejidad de las bombas.

**Otros usos:** Los motores de cohetes de propulsante líquido más pequeños se usan ampliamente para maniobras en órbita y mantenimiento de órbitas para satélites y otras naves espaciales, generalmente sin bombas.

**Apariencia (como se fabrica):** Los motores de cohete de propulsante líquido se caracterizan por tener cámara de combustión cilíndricas o esféricas a las que se une una tobera convergente/divergente. La tobera suele ser más grande que el resto del motor (Imágenes 18 y 20). Las toberas refrigeradas por los propulsores que fluyen dentro pueden tener paredes de chapa metálica separadas por una chapa ondulada, o estar compuestas por un haz de tubos de metal contorneados. Las toberas sin refrigerar están hechas de un metal refractario o un material compuesto ablativo. El inyector, una placa plana o curva con una gran cantidad de agujeros individuales, a menudo se puede ver mirando dentro de la tobera hacia la parte superior de la cámara de combustión. Un ejemplo de inyector se muestra en la Imagen 20. Una serie de tuberías, tubos y bombas están unidos a la parte superior y a los lados de la cámara de combustión. Mientras que la Imagen 20 muestra un motor de segunda etapa que tiene bombas alimentadas por turbinas de gas caliente, el motor líquido de la Imagen 18 es más pequeño y no usa bombas.

**Apariencia (como empaquetado):** Los motores de cohete de propulsante líquido son dispositivos resistentes, pero deben protegerse de golpes y humedad. Los contenedores típicos incluyen grandes cajones de madera y contenedores de metal.

### Motores de cohetes híbridos

**Naturaleza y propósito:** Los motores de cohetes híbridos (Imagen 19) usan propulsores sólidos y líquidos, generalmente un combustible sólido y un oxidante líquido. Debido a que el flujo del oxidante líquido se puede controlar, los motores híbridos se pueden acelerar o apagar por completo y luego reiniciar. Los motores de cohetes de propulsante híbrido combinan algo de la simplicidad de los motores de cohetes de propulsante sólido con la capacidad de control de los motores de cohetes de propulsante líquido.



Imagen 19: Un motor de cohete híbrido. (NASA)

**Método de operación:** Los motores de cohetes híbridos usan tanques a presión o bombas para alimentar el oxidante a la cámara de combustión, que está forrada con combustible sólido. Las bombas son accionadas por un generador de gas alimentado por su propio grano de combustible o alguna otra fuente de combustible. El oxidante líquido quema el combustible sólido dentro de la cámara hueca, y los gases calientes y en expansión se expulsan a través de la tobera a velocidad supersónica para proporcionar empuje. Como en un motor de cohete de propulsante sólido, la carcasa exterior de la cámara de combustión está protegida contra gran parte del calor de la combustión por el combustible mismo porque se quema desde adentro hacia afuera. Las toberas y las carcasas de motor para híbridos son similares a sus elementos correspondientes para motores de cohete sólido, por ejemplo, la carcasa debe soportar la presión de combustión.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los motores de cohetes híbridos se pueden utilizar para impulsar vehículos de lanzamiento espacial, cohetes con sonido y misiles balísticos.

**Otros usos:** N/C

**Apariencia (como se fabrica):** Un motor cohete híbrido tiene un inyector de oxidante montado en la parte superior de la carcasa del motor de alta presión y una tobera convergente/divergente en la parte inferior. El inyector tiene válvulas y tuberías de un tanque de presión o de un tanque y una bomba asociada. La cámara de combustión generalmente está fabricada de acero o titanio, que puede ser negro o gris, de grafito de filamentos bobinado o

epoxi de vidrio, que generalmente es amarillo o marrón. La cámara está forrada con un propulsante sólido y grueso que tiene una variedad de configuraciones y se parece a un solo cilindro con un centro hueco, cilindros concéntricos o ruedas de carreta. Las toberas están hechas de material ablativo, que a menudo es marrón o metales de alta temperatura, y pueden tener insertos de alta temperatura en sus orificios (ver Imagen 9).

Apariencia (como empaquetado): Los motores de cohetes híbridos pueden enviarse completamente ensamblados o parcialmente ensamblados, con tanques y equipo informático asociado empaquetados por separado de la cámara de combustión y las toberas adjuntas. Las unidades completamente ensambladas se empaquetan en cajones de madera. Los componentes se empaquetan en cajones de madera o cartones pesados. Los cajones legalmente marcados están etiquetados con explosivos o advertencias de peligro de incendio porque los misiles se alimentan con propulsante sólido. Sin embargo, debido a que los motores contienen solo combustible y ningún oxidante, son menos peligrosos que los motores de cohete propulsante sólido normales.

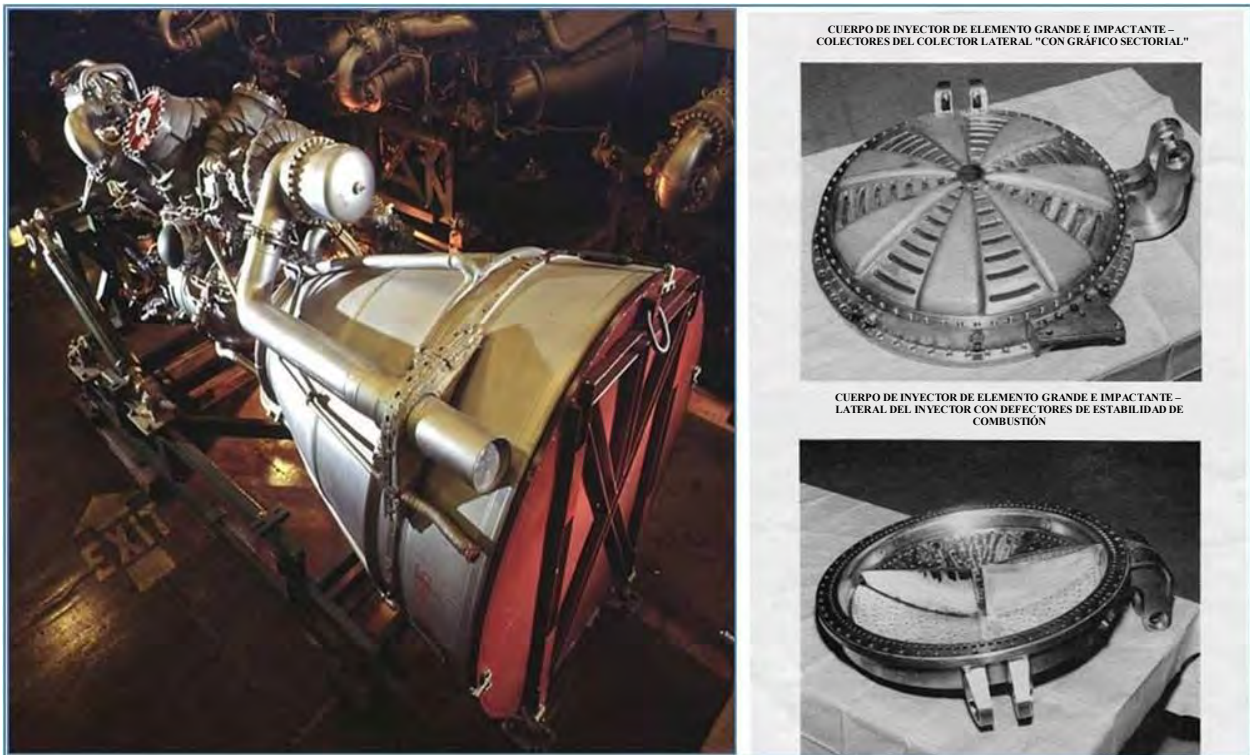


Imagen 20: Izquierda: Un motor de cohete de propulsante líquido de oxígeno/queroseno de segunda etapa. (Aerojet) Derecha: El domo de una cabeza de inyector (imagen superior) y su parte inferior, que muestra los inyectores y deflectores (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

### Motores de cohete de propulsante de gel

**Naturaleza y propósito:** Los propulsores de gel, junto con sus motores, propulsores y subsistemas de propulsión, son un caso especial de sus contrapartes de propulsores líquidos. Si los tanques de combustible y oxidante se abren, los propulsores de líquido pueden fluir y mezclarse fácilmente, lo que resulta en un gran incendio. Los propulsores de gel no fluyen y se mezclan tan fácilmente, por lo que la propulsión de gel ofrece seguridad en el almacenamiento para aplicaciones que necesitan características de líquidos (versus sólidos), como la capacidad de encender y apagar rápidamente una variedad de motores que utilizan válvulas. Otra característica potencial de los propulsores de gel es que los propulsores pueden contener aditivos para energía mejorada. Si bien las partículas sólidas de materiales energéticos se depositarían en un líquido, dichas partículas tienden a permanecer suspendidas y, por lo tanto, mezcladas uniformemente en un propulsante de gel.

**Método de operación:** Los motores para propulsores de gel y sus partes, como los inyectores y las cámaras de empuje, son similares a sus contrapartes líquidas. Los detalles de diseño difieren porque se necesitan presiones más altas para que los propulsores de gel fluyan a través de pasillos estrechos o, por el contrario, los pasillos deben ser más grandes. Si bien puede haber excepciones, es más probable que los propulsores de gel se usen con propulsión alimentada a presión, dado que los geles no fluirían fácilmente de los tanques de baja presión para alimentar las bombas. Del mismo modo, los geles no drenan naturalmente de un tanque como los líquidos. Por lo tanto, es probable que los tanques para los propulsores de gel tengan separadores móviles, como diafragmas o pistones, entre el propulsor y el gas presurizante.

**Usos típicos relacionados con misiles:** El uso más probable para los propulsores de gel es para pequeños subsistemas de propulsión, como pequeños misiles, etapas superiores de misiles balísticos y vehículos de reingreso maniobrables. Dada la necesidad de altas presiones en relación con el flujo, es más probable que los propulsores de gel se usen con presiones de tanque relativamente altas y otras características que agregan peso a los tanques. Por estas razones, los geles son más apropiados para pequeños subsistemas de propulsión que para grandes etapas de cohetes.

**Otros usos:** N/C.

**Apariencia (como se fabrica):** Los motores y los subsistemas de propulsión para los propulsores de gel son muy similares a sus contrapartes construidos para los propulsores de líquido. El tamaño es relativamente pequeño como se señaló anteriormente.

**Apariencia (como empaquetado):** El embalaje debe estar especializado para proteger contra daños, especialmente para subsistemas de misiles que están cargados de propulsores. Si bien los subsistemas completos de propulsión líquida no se enviarían mientras están cargados, la seguridad relativa de los geles potencialmente permite el envío cuando se cargan.

2.A.1.d. 'Conjuntos de guiado', utilizables en los sistemas especificados en 1.A., capaces de alcanzar una precisión del sistema de 3,33 % o menos del "alcance" (por ejemplo, un 'CEP' de 10 km o menos en un "alcance" de 300 km), excepto lo dispuesto en la Nota a continuación 2.A.1. para aquellos diseñados para misiles con un "alcance" de menos de 300 km o aviones tripulados;

**Notas técnicas:**

1. Un 'conjunto de guiado' integra el proceso de medir y calcular la posición y la velocidad de un vehículo (es decir, la navegación) con la de calcular y enviar comandos a los sistemas de control de vuelo del vehículo para corregir la trayectoria.
2. 'CEP' (círculo de igual probabilidad) es una medida de precisión, definida como el radio del círculo centrado en el objetivo, en un rango específico, en el que impacta el 50 % de la carga útil.

- Canadá
- Francia
- Israel
- Corea del Norte
- Ucrania
- Estados Unidos
- China
- India
- Japón
- Federación Rusa
- Reino Unido

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Un conjunto de guiado dirige automáticamente los vehículos a lo largo de una trayectoria o trayectoria de vuelo. Los conjuntos de guiado son conjuntos de alta calidad de equipos sensibles, electrónicos, inerciales, ambientales (por ejemplo, de presión), mecánicos y basados en satélites. El núcleo de cualquier conjunto de guiado es la unidad de medición inercial (IMU), que contiene los giroscopios y acelerómetros que permiten que el conjunto de guiado detecte movimiento y cambios de orientación. Los conjuntos de guiado pueden ser muy caros, con costos que van desde varios miles hasta varios millones de dólares cada uno; siendo los subsistemas más precisos los más caros.

**Método de operación:** Los conjuntos de guiado están calibrados y se les proporciona información sobre la posición del vehículo, velocidad y orientación antes del lanzamiento.

Después del lanzamiento, los instrumentos inerciales detectan las aceleraciones y rotaciones del vehículo, y generalmente las convierten en señales eléctricas. Un dispositivo informático convierte estas señales en desviaciones de la ruta de vuelo programada y emite comandos al sistema de control de vuelo para corregir el rumbo. Sin embargo, debido a errores en los propios instrumentos inerciales, el misil tiende a desviarse con el tiempo. Los conjuntos de guiado que se desvían menos del 3,33% del rango recorrido se controlan bajo este artículo. Se pueden usar otras ayudas de orientación, como un receptor del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), sistemas de referencia del terreno o brújulas giroscópicas para proporcionar una o más actualizaciones de mitad de curso en la ubicación u orientación del ordenador de guiado, aumentando así la precisión. (El equipo de navegación, incluido el equipo de actualización, está cubierto en el Artículo 9.A. del Anexo del MTCR).

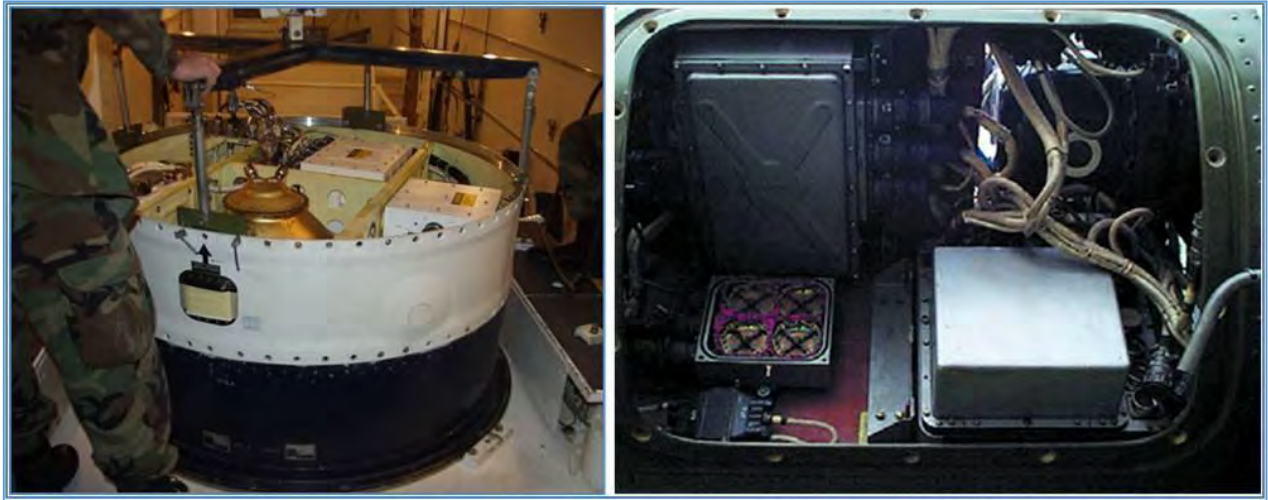


Imagen 21: *Izquierda:* Un conjunto de guiado de misiles que se transporta a una instalación de lanzamiento. (Northrop Grumman) *Derecha:* Un conjunto de guiado de tecnología más antigua, compuesto por varios componentes, instalado en un misil. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

**Usos típicos relacionados con misiles:** Un conjunto de guiado es un subsistema común para cualquier sistema de misiles. Los conjuntos de guiado de misiles balísticos suelen ser equipos muy especializados, a menudo contruidos para caber en un misil en particular, para soportar entornos hostiles y para funcionar con un alto grado de precisión. Están diseñados para satisfacer el estricto tamaño, peso, potencia y los exigentes requisitos ambientales de las aplicaciones de lanzamiento espacial y misiles balísticos. Los sistemas de guiado de UAV, incluidos los de misiles de crucero, pueden ser sistemas altamente especializados, pero menos complicados, y a menudo se complementan con numerosos otros sensores y receptores como parte de un sistema de navegación integrado (detallado en 9.A.).

**Otros usos:** Los sistemas de guiado y navegación de varios tipos se usan ampliamente en embarcaciones marinas, aviones e incluso algunos vehículos terrestres.

**Apariencia (como se fabrica):** El tamaño, el peso y la apariencia de los conjuntos de guiado varían según el tipo de misil debido a las características estructurales del misil y las variaciones en los requisitos de la misión. Los diseños más antiguos tienden a ser más grandes y pesados (hasta alrededor de 1 m de lado/diámetro y un peso de hasta 100 kg). Los nuevos sistemas, que son significativamente más precisos, pueden requerir solo 30 cm de lado y pesar algunos kilogramos. La mayoría de los conjuntos están contenidos en cajas metálicas que tienen paneles de acceso herméticos pero extraíbles. A menudo son rectangulares, pero también pueden ser cilíndricos o estar compuestos por varias cajas de varias formas (Imagen 21 (izquierda)). Los juegos de guiado también tienen conectores eléctricos de calidad, superficies de montaje de precisión y, en algunos casos, conexiones de control de temperatura. Algunos sistemas tienen una IMU flotante o montada en un cardán alojada en una cámara aproximadamente esférica que sobresale en algún lugar del conjunto de guiado. Otros sistemas tienen la IMU separada de la electrónica.



Imagen 22: *Izquierda:* Un sistema de guiado y navegación, diseñado para cumplir con los requisitos de la misión espacial a largo plazo. (Northrop Grumman) *Derecha:* Un contenedor de envío para un sistema de guiado ICBM.

Los subsistemas de guiado de correa modernos a menudo tienen forma de caja. La Imagen 22 muestra un subsistema de guiado y navegación con el panel de acceso eliminado. Algunos subsistemas de guiado de correa modernos se desvían de la forma de caja cuando la aplicación requiere que el conjunto de guiado se ajuste a un espacio pequeño.

**Apariencia (como empaquetado):** Debido a que la mayoría de los conjuntos de guiado son muy caros y sensibles al daño por golpes, se envían en contenedores acolchados, algunos de ellos especialmente diseñados y herméticos, para protegerlos de la humedad. Estos contenedores generalmente tienen etiquetas que solicitan un manejo cuidadoso. Se puede utilizar una amplia gama de configuraciones de contenedores, incluidos tambores especiales, carcasas y maletas de metal.

2.A.1.e. Subsistemas de control de vectores de empuje, utilizables en los sistemas especificados en 1.A., excepto lo dispuesto en la Nota a continuación 2.A.1. para aquellos diseñados para sistemas de cohetes que no exceden la capacidad de "alcance"/"carga útil" de los sistemas especificados en 1.A.;

**Nota técnica:**

2.A.1.e. incluye los siguientes métodos para lograr el control del vector de empuje:

- a. Tobera flexible;
- b. Inyección de fluido o gas secundario;
- c. Motor móvil o tobera;
- d. Desviación de la corriente de gases de escape (paletas o sondas);
- e. Uso de aletas de empuje.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| • China           | • Francia         |
| • Alemania        | • India           |
| • Israel          | • Italia          |
| • Japón           | • Corea del Norte |
| • Federación Rusa | • Serbia          |
| • España          | • Ucrania         |
| • Reino Unido     | • Estados Unidos  |

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los subsistemas de control de vector de empuje (TVC) redirigen el empuje axial cambiando ligeramente la dirección de los gases calientes expulsados a través de la tobera del cohete y, por lo tanto, dirigen el misil.

**Método de operación:** Hay varias formas diferentes de dirigir un misil. En general, redirigen el empuje del motor ligeramente lejos de la línea central del misil, lo que hace que el vehículo gire. El control de exportación bajo este elemento se aplica independientemente del diseño específico o el nombre del subsistema de control de vector de empuje. Las etapas de cohete de propulsante líquido generalmente redirigen el empuje al girar uno o más motores completos, un proceso llamado cardán después de los montajes de tipo cardán que tienen rodamientos gi-

ratorios en uno o más ejes. En contraste, la mayoría de los motores de cohetes de propulsante sólido modernos usan toberas flexibles. Ambos enfoques utilizan actuadores servomecánicos unidos al armazón de misiles para empujar y tirar continuamente del motor o la tobera del cohete ligeramente hacia los lados. Alternativamente, la dirección se puede hacer desviando los gases de escape en las toberas fijas de cohetes por medio de paletas de chorro móviles, o introduciendo gas o líquido adicional en la tobera desde el lado (inyección de fluido).

Las paletas de chorro son una tecnología más antigua que requiere materiales capaces de soportar temperaturas extremas debido a la inmersión continua en el escape del cohete. Una alternativa de funcionamiento más fría son las aletas de empuje, que normalmente serían cuatro paletas que giran dentro y fuera del flujo de gas caliente en el borde de la salida de la tobera. Están montados más allá del radio de la tobera en su salida, con rotación alrededor de un eje paralelo al misil. La inyección de fluido desde el lado hace que el flujo de escape a través de la tobera se desvíe lateralmente desde el eje central, causando así un flujo asimétrico y una dirección de empuje fuera de la línea central.

Otro método para la dirección de misiles es colocar pequeños motores de propulsión líquida en cuatro puntos alrededor del motor principal. Tales motores Vernier simplemente se encienden y apagan para dirigir un misil, como



el control de actitud del satélite. Al igual que en la última implementación, los motores Vernier en un misil pueden dirigir el misil para reorientarlo durante una etapa de rodadura en punto muerto, en ausencia de empuje desde la tobera principal.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los subsistemas de control del vector de empuje cambian la dirección de empuje del cohete para dirigir el misil en respuesta a los comandos del conjunto de guiado. Son un elemento obligatorio en los vehículos de lanzamiento espacial y los sistemas de misiles balísticos y se utilizan en algunos sistemas de UAV, en particular los motores de refuerzo de misiles de crucero.

**Otros usos:** Se utilizan diferentes tipos de subsistemas de control de vectores de empuje en aviones de combate avanzados, aviones de investigación y naves espaciales.

**Apariencia (como se fabrica):** Los conjuntos de control de vector de empuje pueden incluir anillos de montaje (por ejemplo, cardán), varillas de actuador hidráulico, válvulas, tubos o tuberías y electrónica de control dedicada. Los actuadores electromecánicos son una alternativa más moderna a los hidráulicos. A la izquierda de la Imagen 23 se muestra un ejemplo de una caja electrónica de control de vector de empuje para un gran motor de cohete de propulsante líquido. Los anillos de montaje están unidos al área del orificio de la tobera, y son lo suficientemente robustos como para soportar el torsión impartido en condiciones de empuje total. Se conecta un sistema de accionamiento al anillo de montaje, al motor en sí o directamente a la tobera.

Las varillas del actuador hidráulico son cilíndricas y pueden tener una longitud de 15 cm a 45 cm y un diámetro de 3 cm a 8 cm, o de lo contrario, dependiendo del tamaño del misil (Imagen 23 (derecha)). Empujan y tiran del motor o la tobera en respuesta a las señales del sistema de guiado a las válvulas del actuador. Un generador de gas (básicamente un pequeño motor de cohete de propulsante sólido) que alimenta una pequeña turbobomba es una forma de presurizar el fluido hidráulico. Del mismo modo, una turbina podría impulsar un generador eléctrico para alimentar actuadores electromecánicos. Los anillos de montaje y las barras del actuador están hechos de metales de alta resistencia como el acero inoxidable o el titanio. Es probable que las válvulas de accionamiento tengan carcasas de acero inoxidable.



Imagen 23: *Izquierda:* Una caja electrónica de control de vector de empuje para su uso en grandes aplicaciones de vehículos de lanzamiento (Moog, Inc.) *Centro:* Cuatro paletas montadas en la parte trasera de un misil balístico. (Militar ruso) *Derecha:* Un actuador lineal de posicionamiento fino diseñado para su uso en aplicaciones espaciales. (Moog, Inc)

La forma más común de implementar el control del vector de empuje de inyección de gas o fluido es almacenar el gas o el fluido en tanques y luego medir su inyección en la tobera del cohete a través de líneas de alimentación, válvulas, a veces colectores e inyectores. Los tanques suelen ser recipientes a presión cilíndricos con envoltura compuesta que varían en tamaño y peso. Las clasificaciones de presión de 7 MPa (1000 psi) son típicas. Las líneas de alimentación de gas o líquido (aproximadamente 1 cm de diámetro para motores más pequeños), las válvulas de control y los inyectores a menudo están hechos de acero inoxidable.

Las paletas de chorro se montan en la parte trasera o dentro de la tobera de escape y giran en respuesta a los comandos del sistema de guiado de misiles para redirigir el empuje. Parecen alas pequeñas, generalmente de 30 cm de longitud y 15 cm de altura (los tamaños varían según el tamaño del motor). Están hechos de material de alta temperatura como el carbono, derivados de carbono o materiales refractarios como el tungsteno. La imagen central de la Imagen 23 muestra cuatro paletas montadas en el extremo de popa de un misil balístico. Si bien las paletas son paneles planos, sus bordes posteriores aparecen en la imagen como líneas de colores claros que apuntan hacia el eje central del misil.

**Apariencia (como empaquetado):** Los anillos cardán generalmente tienen un diámetro de 15 cm a 50 cm y se pueden enviar como un conjunto (los anillos dobles permiten dos ejes de rotación) en un contenedor de envío apropiado para evitar daños. Si bien una sola tobera en una etapa de misil necesita dos direcciones de movimiento perpendiculares, el uso de múltiples motores principales ofrece la posibilidad de que cada uno se mueva en una sola dirección en particular o que algunos no se muevan en absoluto si hay muchos. Las barras y válvulas del actuador se parecen a las barras y válvulas comerciales. Las válvulas están empaquetadas dentro de bolsas de plástico para protección contra partículas abrasivas. Debido a que estos artículos pueden ser bastante pesados, se envían asegurados en contenedores robustos hechos de metal o madera. Los tanques de inyección de gas o fluido se empaquetan como productos comerciales, como los tanques de propano. Los inyectores y las válvulas generalmente se empaquetan como cualquier pieza de equipo costoso en contenedores acolchados y en bolsas de plástico para evitar la contaminación.

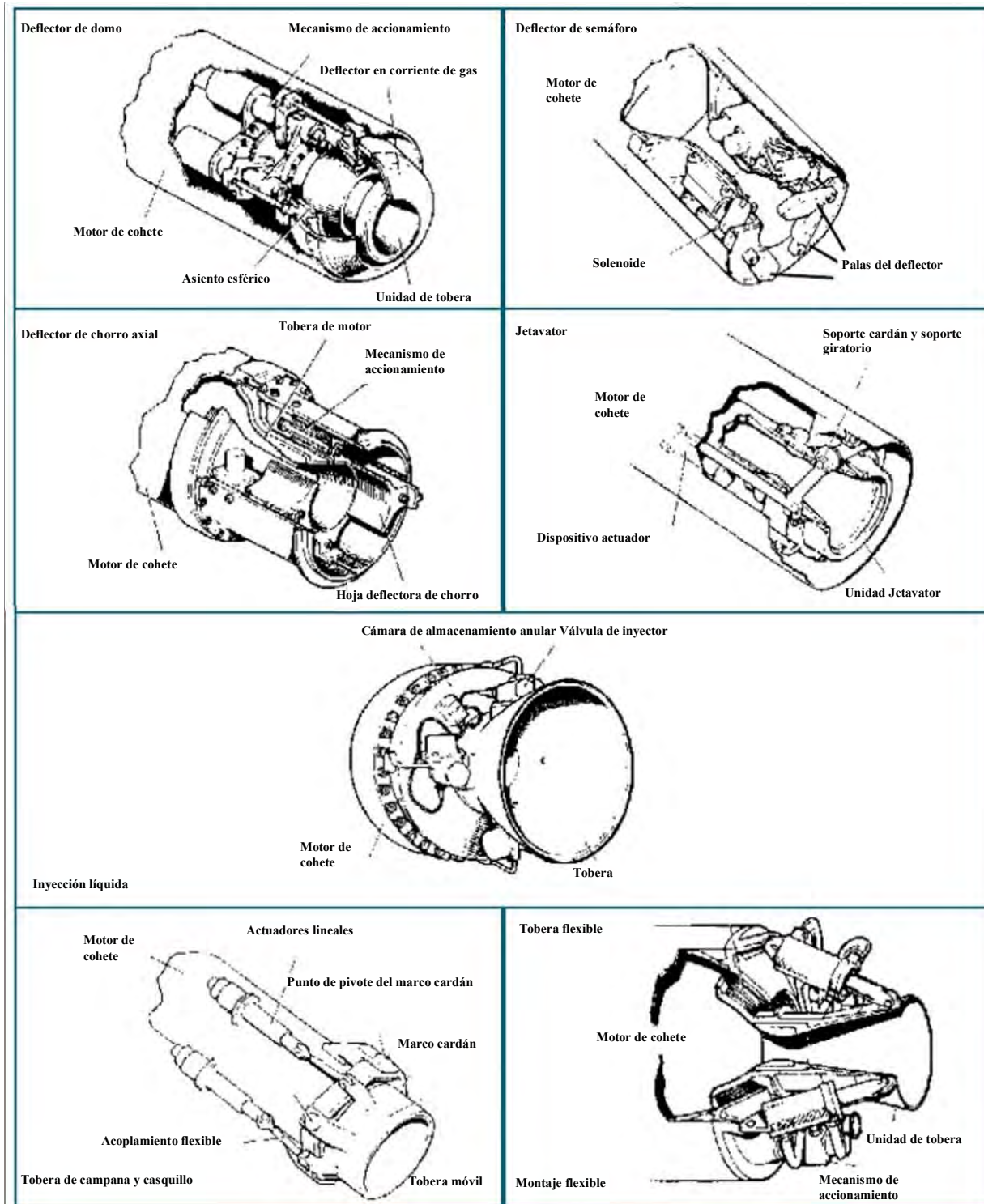


Imagen 24: Siete opciones para el control del vector de empuje en motores de cohetes de propulsante sólido. (British Aerospace Defense Limited)

2.A.1.f. Mecanismos de seguridad, armado, detonación y disparo de armas u ojivas, utilizables en los sistemas especificados en 1.A., excepto lo dispuesto en la Nota 2.A.1. a continuación para aquellos diseñados para sistemas distintos a los especificados en 1.A.

**Nota:**

*Las excepciones en 2.A.1.b., 2.A.1.d., 2.A.1.e. y 2.A.1.f. anteriores pueden tratarse como Categoría II si el subsistema se exporta sujeto a declaraciones de uso final y límites de cantidad apropiados para el uso final exceptuado mencionado anteriormente.*

**• Para sistemas avanzados de detonación de RV**

- China
- Alemania
- Israel
- Reino Unido
- Francia
- India
- Federación Rusa
- Estados Unidos

**• Otros tipos de componentes SAFF, particularmente para vehículos aéreos, están comúnmente disponibles.**

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los mecanismos de seguridad, armado, vaciado y disparo (SAFF) de la ojiva son, por lo general, dispositivos electrónicos o electromecánicos que mantienen las cargas de misiles (ojivas) desarmadas de forma segura hasta poco antes de alcanzar el objetivo, momento en el que se funden y disparan los explosivos.

**Método de operación:** Antes del lanzamiento, la mayoría de los subsistemas SAFF aseguran que la ojiva esté segura (no pueda detonar) aislando mecánica o eléctricamente la ojiva del sistema de disparo. Después del lanzamiento, el subsistema SAFF elimina los enclavamientos y arma la ojiva. El armado puede ocurrir después de un tiempo establecido desde el lanzamiento o después de detectar un cambio de trayectoria preprogramado o ciertas condiciones ambientales, como una desaceleración esperada. Los subsistemas SAFF de baja tecnología utilizan interruptores barométricos para las funciones de seguridad y armado.

La espoleta define cuándo se cumplen los criterios de detonación. Las espoletas comunes incluyen temporizadores, sensores de aceleración y dispositivos de detección de altitud como interruptores barométricos o radares activos. Cuando la carga útil alcanza los criterios predefinidos, se genera una señal y se envía al conjunto de disparo. Los condensadores de alto voltaje se disparan (descargan) y entregan una corriente eléctrica a los detonadores de ojivas. Las cargas útiles también pueden tener aplastamientos o espoletas de contacto que se sienten cuando las cargas golpean los objetivos y comienzan a romperse. Estas espoletas respaldan el sistema de detección de altitud o se usan para misiones que requieren un impacto en el objetivo. Los misiles de crucero que explotan con aire sus ojivas o distribuyen submuniciones se dispararán y dispararán cuando el sistema de guiado determine que se ha alcanzado el objetivo. Alternativamente, pueden usar radar o altímetros láser, espoletas de proximidad y espoletas de contacto. Un subsistema SAFF puede incluir algunas o todas estas opciones de redundancia.

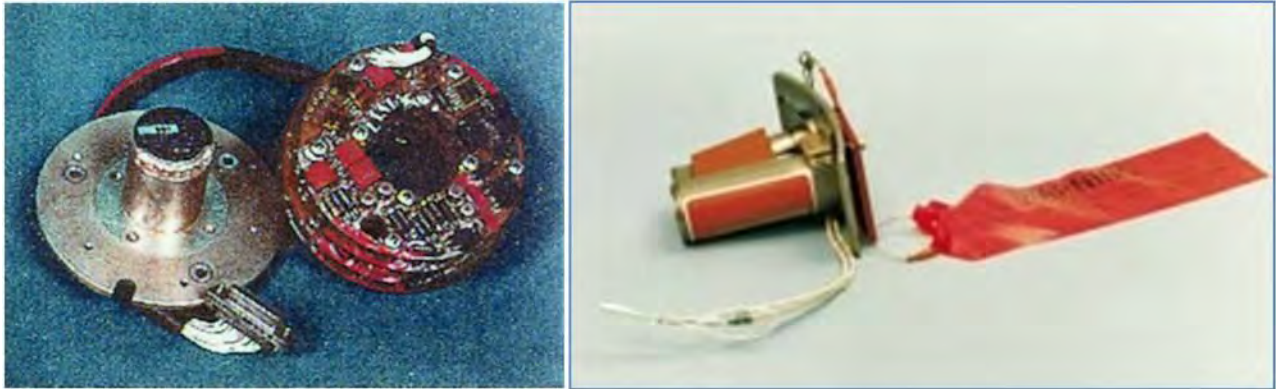


Imagen 25: *Izquierda:* Un acelerómetro del sistema RV SAFF con su electrónica asociada. *Derecha:* Una espoleta de misil con placa de seguridad y etiqueta de advertencia. (Corporación Aeroespacial de Kaman)

Los mecanismos de espoletado basados en radar para misiles balísticos requieren un transmisor de frecuencia relativamente alta (banda S o banda C) y materiales de ventana transmisiva como sílice de alta pureza para proteger la antena que mira hacia afuera del calor creado durante el reingreso. Para aplicaciones de misiles, las espoletas de contacto tienen una capacidad de entre 100 g y 500 g. Los mecanismos de espoletado de misiles balísticos de alta tecnología que utilizan acelerómetros requieren instrumentos capaces de 100 g o más.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Se requiere alguna forma de subsistema SAFF en todos los sistemas de misiles con ojivas explosivas para garantizar que las armas estén seguras hasta su lanzamiento y detonar cuando sea necesario. Debido a que los subsistemas SAFF generalmente se adaptan a la configuración interna y la función de un misil específico, no es rentable modificarlos para aplicaciones que no sean de misiles.

**Otros usos:** La tecnología básica de espoletado y disparo involucrada en un subsistema SAFF de misiles se utiliza en todos los artículos de municiones con ojivas explosivas. Los mecanismos de espoletado más avanzados, en los que el tiempo o la altitud de la detonación están determinados por radares activos o acelerómetros integradores, se utilizan en proyectiles de artillería y submuniciones avanzadas. La tecnología de disparo utilizada para las ojivas de misiles se utiliza comercialmente en todas las actividades en las que se utilizan explosivos, como la construcción de carreteras, excavaciones de minas y demolición de estructuras.



Imagen 26: Un contenedor de madera con etiqueta de advertencia de explosivos. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

**Apariencia (como se fabrica):** Los subsistemas y paquetes SAFF de misiles no se obtienen como una sola unidad; en cambio, se ensamblan a partir de componentes y subsistemas individuales (Imagen 25). Estos componentes son generalmente paquetes pequeños con carcasa de aluminio con conectores eléctricos de entrada/salida. Las espoletas simples generalmente se alojan en cilindros de aluminio que varían en diámetro desde 1 cm para espoletas de aplastamiento hasta varios centímetros para espoletas de contacto. Los mecanismos de espoletado de alta tecnología pueden involucrar instrumentos sofisticados como acelerómetros o transmisores de radar activos y antenas.

**Nota:**

Las excepciones en 2.A.1.b., 2.A.1.d., 2.A.1.e. y 2.A.1.f. anteriores pueden tratarse como Categoría II si el subsistema se exporta sujeto a declaraciones de uso final y límites de cantidad apropiados para el uso final exceptuado mencionado anteriormente.

**Apariencia (como empaquetado):** Como la mayoría de los productos electrónicos, los subsistemas SAFF se envían en contenedores acolchados, algunos de ellos contenedores especiales herméticos para protegerlos de la humedad. Estos contenedores generalmente tienen etiquetas que indican la necesidad de un manejo cuidadoso. Se puede utilizar una amplia gama de configuraciones de contenedores adecuados, incluidos tambores especiales, carcasas y maletas de metal. A su vez, cualquiera de estos puede embalarse en una caja de madera (Imagen 26) con la etiqueta de advertencia de explosivos (cuando corresponda) o puede enviarse en cajas de cartón normales.

## 2.B. Equipo de prueba y producción

### 2.B.1. "Medios de producción" especialmente diseñadas para los subsistemas

- Argentina
- Canadá
- Egipto
- Alemania
- Israel
- Japón
- Corea del Norte
- Pakistán
- Serbia
- España
- Siria
- Reino Unido
- Brasil
- China
- Francia
- India
- Italia
- Libia
- Noruega
- Fed. de Rusia
- Re. de Corea
- Suecia
- Ucrania
- Estados Unidos

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los medios de producción del subsistema son a menudo grandes áreas industriales diseñadas para fabricar los conjuntos principales, como motores de cohete de propulsante sólido o motores de cohete de propulsante líquido, equipo de guiado y control o vehículos de reentrada. Las grúas aéreas se utilizan para mover componentes pesados. Puede haber equipos de rayos X grandes disponibles para verificar huecos y grietas en las soldaduras o en el propulsante de misiles. Las instalaciones de mezclado de propulsante sólido a menudo se construyen en regiones aisladas, eliminadas de las áreas pobladas por razones de seguridad. Las instalaciones de fabricación del subsistema de orientación y del subsistema de reentrada se caracterizan por salas limpias y sistemas de aire filtrado que generalmente controlan la temperatura y la humedad. Los técnicos deben usar ropa especial para controlar el polvo o la pelusa y la electricidad estática. Un requisito primordial para la fabricación de instrumentación de guiado es un sistema de filtración riguroso. El aire pasa a través de filtros de absorción de partículas de alta eficiencia (HEPA), que a menudo cubren toda el área del techo de la sala limpia.

**Método de operación:** Los subconjuntos de misiles balísticos se fabrican y a menudo se prueban en sus medios de producción antes de enviarlos al almacenamiento o al área de ensamblaje final. Materias primas tales como chapa

de acero se enrollan en las formas adecuadas y se sueldan para formar cilindros que se convertirán en la carcasa sólida del motor del cohete propulsante. Los domos finales se sueldan en estos cilindros para completar el recinto. Cada domo extremo tiene una abertura circular reforzada para montar el iniciador de escenario y para fijar la tobera.

La resistencia de un pequeño número de carcasas de motor de muestra se prueba en instalaciones de prueba especiales. Aquí, una carcasa del motor se prueba hidrostáticamente hasta su punto de ruptura para confirmar su capacidad de retención de presión y validar los procesos de fabricación utilizados para construir esa gran cantidad de carcasas del motor. La carcasa del motor está sellada, llena de agua y presurizada hasta que explota. Los instrumentos se unen a la carcasa del motor, y se registran el esfuerzo y la tensión, al igual que la presión del agua durante la prueba. A menudo, el procedimiento se graba en vídeo para admitir un análisis detallado de fallas.

Los motores de cohete de propulsante líquido son dispositivos mecánicos complejos que requieren muchos pasos precisos de mecanizado y montaje, a menudo en salas limpias. Pequeñas piezas de precisión son fundidas, mecanizadas, ensambladas y limpiadas. Los conjuntos de tanque de propulsante más grandes se fabrican comúnmente en instalaciones de formación de láminas que enrollan el material de lámina en secciones cilíndricas que luego se sueldan entre sí a lo largo de sus costuras axiales. Los domos finales se sueldan luego a los cilindros resultantes. Estas y otras soldaduras ofrecen puntos de falla en el misil y deben inspeccionarse a fondo. A menudo se utilizan rayos X no destructivos u otros medios para inspeccionar esta soldadura. Las grúas aéreas se utilizan para mover y colocar estos componentes de misiles desde y hacia las plantillas de manipulación.

La producción precisa de subsistemas de guiado impone las mayores demandas de todos los medios de producción de misiles balísticos. La fabricación de instrumentos inerciales de alta calidad requiere una cantidad de personas altamente calificadas. Los procedimientos de fabricación requieren atención completa a los detalles de la producción de componentes electromecánicos miniaturizados de gran tolerancia. Las instalaciones de fabricación del subsistema de guiado de misiles requieren equipos de precisión y condiciones de sala limpia para fabricar y probar los instrumentos de guiado individuales y luego ensamblarlos en un subsistema de guiado. Los polipastos y grúas están disponibles para mover componentes hacia y desde la manipulación de plantillas y contenedores de envío.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los componentes y conjuntos fabricados en estas instalaciones se utilizan para construir y probar los elementos enumerados en 2.A.

**Otros usos:** N/C

**Apariencia (como se fabrica):** Se requieren varias instalaciones individuales y especializadas para producir componentes de misiles. Los accesorios utilizados en la producción de motores de cohete de propulsante sólido suelen ser estructuras grandes y pesadas. Mezclar y lanzar el propulsante de un cohete es peligroso, y la actividad generalmente se completa en lugares aislados para minimizar los resultados de una explosión. Pueden estar presentes tuberías de gran diámetro y pozos de gran capacidad que pueden incluir instalaciones para aspirar vacío en el motor del cohete. Los mandriles en forma de estrella o de aletas múltiples pueden ser visibles.

Los medios de producción para motores de cohete de propulsante líquido pueden involucrar estructuras más pequeñas, pero normalmente requieren bancos de prueba a gran escala. Los misiles balísticos de medio alcance y los misiles más pequeños podrían fabricarse en una instalación que se parecería mucho a cualquier taller de máquinas grande y bien equipado. Se necesita una instalación de garantía de calidad con laboratorios.

Estos incluirán salas limpias, bancos de flujo de aire, placas de superficie de granito, dispositivos de medición de precisión que incluyen microscopios electrónicos de barrido (SEM), máquinas de medición de coordenadas, detectores de gases con una capacidad de detección de menos de 5 partes por millón y otros dispositivos de medición especializados según sea necesario. Las estaciones para ensamblar vehículos de reentrada de alta tecnología incluyen salas limpias para asegurar la confiabilidad en los componentes de armado y vaciado y las tablas de equilibrio para configurar el centro de gravedad en la posición adecuada. Los polipastos y grúas están disponibles para mover componentes frágiles hacia y desde la manipulación de plantillas y contenedores de envío.

Las máquinas de fabricación aditiva (AM) se pueden ubicar en casi cualquier lugar. Las máquinas típicas de fusión de lecho de polvo (PBF) y deposición de energía dirigida (DED) son de 2,2 m x 1,1 m x 2,3 m, y con todos los equipos auxiliares se puede colocar en una habitación de 5,3 m x 4,1 m. La sala necesitará controles ambientales para mantener la temperatura y la humedad relativa en las condiciones requeridas.

**Apariencia (como empaquetado):** Las piezas de repuesto nuevas o de reemplazo para este tipo de instalaciones a veces son grandes y demasiado pesadas para ser empaquetadas y enviadas a la planta de producción como unidades completas. En cambio, los componentes se envían por separado en cajones o palets protegidos para el montaje en el sitio. Se sujetarán de forma segura a la caja para restringir el movimiento y evitar daños. Las plantillas más pequeñas pueden embalsarse o asegurarse individualmente en paletas para su envío.

### 2.B.2. "Equipo de producción" especialmente diseñado para los subsistemas especificados en 2.A.

**Naturaleza y propósito:** La producción de estos subsistemas requiere equipos adaptados al tipo específico de subconjunto. Cada medio de producción del subsistema debe contener equipos especializados, plantillas, accesorios, moldes, matrices y mandriles que se utilizan para fabricar los componentes del subconjunto, ensamblarlos y probar el subconjunto.

**Método de operación:** El equipo utilizado para construir motores de cohetes de propulsante sólido incluye maquinaria para trabajar el metal, equipos para dimensionar o filtrar componentes del propulsante y mezclar el propulsante, moldes o mandriles para formar el núcleo del motor o la superficie de combustión, dispositivos para fabricar y pirolizar toberas de motor y equipos para probar el vector de empuje. subsistema de control en el motor completado. Las instalaciones también pueden contener equipos de bobinado para cubrir carcasas de motor con materiales compuestos de fibra.



Imagen 27: Una gran fresadora. (Herramientas de precisión Yasda, K.K.)



- Argentina
- Canadá
- Egipto
- Alemania
- Irán
- Italia
- Libia
- Noruega
- Federación Rusa
- República de Corea
- Suecia
- Ucrania
- Estados Unidos
- Brasil
- China
- Francia
- India
- Israel
- Japón
- Corea del Norte
- Pakistán
- Serbia
- España
- Siria
- Reino Unido

## Producción global



Muchas carcasas de motor pueden fabricarse de acero. En un método, las láminas de acero se enrollan y sueldan para lograr el tamaño y la resistencia requeridos por el diseño de la carcasa. Otras técnicas forman la porción cilíndrica del motor mediante extrusión o flujo de metal sobre un mandril. Los domos que forman los extremos de la carcasa se crean mediante formación de flujo o formación de matriz. La extrusión y el flujo de acero reducen el número de posibles puntos de falla en la carcasa del motor terminado al reducir el número de soldaduras necesarias.

Algunas instalaciones de fabricación de motores contienen máquinas de bobinado de filamentos que colocan fibras fuertes recubiertas con una resina epoxi o de poliéster sobre mandriles giratorios para crear piezas compuestas con una alta relación resistencia/peso. Después de que se completa la operación de bobinado, las piezas requieren autoclave y curado con hidrocclave para finalizar el proceso.

El equipo más grande y distintivo en un medio de producción de motores de cohetes de propulsante sólido es el banco de mezcla de propulantes. Esta instalación debe ser lo suficientemente grande como para albergar los ingredientes propulantes, las mezcladoras y otras herramientas utilizadas para hacer la etapa motora. Los componentes propulantes sólidos (combustibles, oxidantes y otros agentes) se reducen primero en tamaño a los diámetros apropiados y luego se mezclan con un agente aglutinante adecuado hasta que la mezcla (conocida como el "grano") se vuelve homogénea. Si el proceso de mezcla se puede completar al vacío, se puede minimizar el número de burbujas en el grano. (Las burbujas representan un aumento de las superficies de combustión que provocan picos de presión y posibles fallas en la carcasa del motor durante la combustión) Después de que los componentes del propulsante se mezclan completamente, la mezcla se coloca en la carcasa del motor. Existen tres métodos principales para cargar una carcasa de motor con propulsante. El propulsante se puede verter en la carcasa (un proceso conocido como "fusión del propulsante" y a veces se hace al vacío), bombearlo a la carcasa o, si el propulsante es lo suficientemente rígido, se puede extruir a través de un molde e insertarse en la carcasa.

El material aislante debe colocarse entre la pared de la carcasa y el propelente para evitar que la carcasa falle debido al calor de la combustión. El aislamiento es a menudo una capa delgada de material de caucho sintético, como el monómero de etileno propileno dieno (EPDM). Los pulverizadores especiales pueden aplicar una capa delgada de aislamiento al interior de la carcasa del motor o una capa de material aislante puede aplicarse a un mandril sobre el cual se enrolla y cura una carcasa de motor compuesta.

La mayoría de las toberas para motores de cohete de propulsante sólido modernos se fabrican con grafito a granel o palanquillas de carbono-carbono multidimensionales. Los tochos de grafito se producen a partir de polvos de grafito de grano fino, moldeados a alta presión y temperatura en forma de tocho. Los tochos de carbono-carbono comienzan con preformas de fibra de carbono tejido, que se densifican repetidamente con brea de alquitrán de hulla o gas de hidrocarburo a muy alta presión y temperatura. Se pueden usar prensas isostáticas durante este proceso. El tocho de carbono-carbono o grafito resultante se mecaniza luego a la forma de tobera deseada.

Cada componente en un subsistema de propulsión de cohete de propulsante líquido requiere equipo de producción. Las válvulas de encendido y apagado de propulsores, por ejemplo, requieren fresadoras, como la que se muestra en la Imagen 27, para fabricar piezas metálicas como carcasas, asientos de válvulas y clavijas. Las bobinas electromagnéticas se unen a los pasadores, y las válvulas se ensamblan en plantillas de montaje (accesorios) para soldar con equipos de soldadura especializados. También se realizan otras operaciones de ensamblaje final. Las válvulas ensambladas pasan por una serie de inspecciones utilizando equipos especializados para garantizar que cumplan con todos los requisitos de las especificaciones de adquisición. Los controles de fugas requieren helio a alta presión y un cromatógrafo de gases con capacidad de al menos cinco partes por millón. Se utiliza una máquina de prueba automatizada para realizar la actuación repetitiva de las válvulas de cierre de propulsante, mientras el fluido fluye a través de las válvulas, para garantizar que las válvulas cumplan con el número de ciclos de cierre y cierre necesarios. Muchas otras pruebas de aceptación se completan durante la producción y entrega.

A medida que se desarrollan nuevas tecnologías de fabricación, la forma en que se producen las herramientas, la electrónica y los componentes de misiles ha evolucionado. Las técnicas de fabricación avanzadas continúan madurando y cambian constantemente el entorno en el que tiene lugar la fabricación. Una de las áreas que madura más rápido es la fabricación aditiva (AM). La AM, a veces llamada "impresión 3D", ha evolucionado desde el prototipo de plásticos hasta la producción completa de polímeros, plásticos, compuestos, electrónica, metales y cerámica.

Las máquinas de AM de metales/cerámica producen piezas y herramientas utilizando un polvo o alambre de metal/cerámica que se funde/sinteriza utilizando los procesos de fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion (PBF)), deposición de energía dirigida (Directed Energy Deposition (DED)) o procesos híbridos. Los polvos/alambres varían desde metales no ferrosos de aluminio, cobre y titanio hasta metales ferrosos de aceros inoxidables y aleaciones de alta resistencia/alta temperatura, muchas de las cuales se utilizan en la tecnología de misiles.

A partir de 2016, el estado actual de la industria limita el tamaño de las piezas para los sistemas de PBF a 250 x 250 x 325 mm, pero hay algunas máquinas capaces de producir piezas de hasta 800 x 400 x 500 mm. Los sistemas DED son capaces de fabricar aditivamente piezas mucho más grandes de hasta 5791 x 1219 x 1219 mm.

El mecanizado por electrodescarga (EDM) se usa ampliamente en la fabricación de inyectores para motores de cohete de propulsante líquido. Cuando se desarrolló por primera vez, el proceso fue controlado por dispositivos de configuración y controles manuales. Los enlaces EDM y CAD/CAM controlados por ordenador son ahora la norma.

Después de que los componentes se prueban y se entregan al área de ensamblaje final, se ensambla el subsistema de propulsión y se realizan numerosas mediciones y comprobaciones para verificar que el subsistema completo corresponde al diseño. En ese momento, el subsistema de propulsión podría probarse para verificar que cumple con los requisitos.

El equipo utilizado para fabricar equipos de guiado inercial es extremadamente especializado. Se requieren herramientas especiales para mecanizar piezas de fundición de precisión, rodamientos, anillos colectores, sensores y microelectrónica. en giroscopios (giroscopios) y acelerómetros. También se necesita equipo especial para la medición precisa y la inspección de los subconjuntos terminados. El rotor del giroscopio y la carcasa del flotador deben mecanizarse con precisión para lograr un espesor de pared uniforme, un acabado de superficie suave y una simetría.

Los rodamientos de bolas, gas o joyas también deben ser mecanizados con precisión. (Se requieren rodamientos de acero inoxidable tan pequeños como un octavo de pulgada de diámetro, con tolerancias de diez millonésimas de pulgada para rotores de giroscopio). Además, estos instrumentos inerciales utilizan mini o microcircuitos para seleccionar y amplificar la información de posición. Si alguno de los procedimientos de fabricación y acabado es deficiente, todo el subsistema sufrirá tensiones aleatorias. Los tensores aleatorios provocan desviaciones que afectan la precisión del giroscopio y, por lo tanto, la precisión del subsistema de guiado.

Las estaciones de prueba y los giradiscos operados por ordenador evalúan los componentes individuales del subsistema de guiado para detectar sesgos, sensibilidad y otras características inherentes a los instrumentos inerciales. Estas mediciones se registran y confirman con otras estaciones de prueba. Estos datos también se envían como constantes de equipos a los ordenadores que construyen y prueban el programa de vuelo del misil. Los componentes del subsistema de guía se ensamblan en la estructura final en un ambiente de sala limpia y se prueban antes de enviarlos a la instalación de ensamblaje de misiles o al almacenamiento. Una vez ensamblados, se prueban para confirmar la integridad mecánica y la capacidad de operar en las condiciones térmicas y de vibración de lanzamiento y vuelo. Estas estaciones de prueba a menudo se incluyen o se ubican cerca de las instalaciones de fabricación e incluyen bases de vibración operadas por ordenador, plataformas giratorias y cámaras de prueba ambiental.

El equipo especializado para producir vehículos de reentrada incluye hornos de alta temperatura y sistemas de control para fabricar el material cerámico o ablativo utilizado para proteger el RV del calor asociado con la reentrada en la atmósfera de la Tierra.

## 2.C. Materiales

Ninguno.

## 2.D. Software

2.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de los "medios de producción" especificados en 2.B.1.

**Naturaleza y propósito:** Los procedimientos de fabricación automatizados y asistidos por ordenador, incluido el control numérico, se utilizan cada vez más para producir componentes de misiles de forma rápida, precisa y con un alto grado de repetibilidad. Estos procedimientos requieren un programa informático especialmente diseñado.

**Método de operación:** Las máquinas herramientas modernas son controladas numéricamente por ordenador (CNC).

- |                     |                  |
|---------------------|------------------|
| •Argentina          | •Brasil          |
| •Canadá             | •China           |
| •Egipto             | •Francia         |
| •Alemania           | •India           |
| •Irán               | •Israel          |
| •Italia             | •Japón           |
| •Libia              | •Corea del Norte |
| •Noruega            | •Pakistán        |
| •Federación Rusa    | •Serbia          |
| •República de Corea | •España          |
| •Suecia             | •Siria           |
| •Ucrania            | •Reino Unido     |
| •Estados Unidos     |                  |

Producción global



Un microprocesador en cada máquina lee el programa Código G que crea el usuario; luego realiza las operaciones programadas. Los ordenadores personales se utilizan para diseñar las piezas y también para escribir programas, ya sea mediante la entrada manual del Código G o mediante el uso de un programa informático de fabricación asistida por ordenador (CAM) que crea el Código G a partir de la entrada del usuario de los cortadores y la trayectoria de la herramienta. Los programas de código G generados por CAM deben post-procesarse en la máquina específica CNC que se está empleando. Los programas y bibliotecas genéricos de generación de código G están disponibles en el dominio público.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Las máquinas herramienta CNC son ampliamente utilizadas en la fabricación y prueba de partes de sistemas de misiles y dependen tanto del programa informático interno como del programa informático CAM para crear las diversas partes de los sistemas de misiles. A continuación, se explican algunos ejemplos de usos de máquinas herramienta CNC para fabricar piezas de sistemas de misiles.

Se han utilizado máquinas herramientas controladas por ordenador y máquinas de fabricación aditiva (AM) para fabricar inyectores principales de núcleo de motor de cohete de propulsante líquido e inyectores pre-quemadores de elementos múltiples.

Los procesos como la unión por difusión de placas delgadas utilizan hornos que pueden ser controlados por ordenador. La deposición por pulverización de plasma y otros tipos de revestimiento de materiales, como la galvanoplastia, se controlan por ordenador.

Las partes de un motor de cohete de propulsante líquido (inyectores a cámaras y cámaras a toberas) generalmente están soldadas, excepto las de las unidades de prueba en tierra. Dicha soldadura "orbital" (360 grados alrededor de una superficie cilíndrica) está actualmente controlada por ordenador, lo que requiere un programa informático especialmente diseñado.

La inspección de artículos de producción también está cada vez más controlada por ordenador. Los inyectores, por ejemplo, contienen cientos de orificios de inyectores cuyo tamaño, ubicación y orientación deben verificarse. Se utilizan comparadores ópticos controlados por ordenador para realizar esta inspección, y se requiere un programa informático especialmente desarrollado.

El equipo automatizado se utiliza para controlar y gestionar tanto el proceso de formación de flujo utilizado en los medios de producción de carcasas de motores de acero como las máquinas para el devanado de filamentos que colocan fibras recubiertas con resina de epoxi o poliéster sobre mandriles giratorios para crear carcasas de motores compuestos.

Los tornos CNC y las máquinas de fresado se pueden utilizar para convertir los grafitos especializados o los tochos de carbono en toberas de motor de propulsante sólido y puntas de ojivas de RV.

Se requiere equipo de mecanizado automatizado para producir los componentes de precisión que conforman los instrumentos de guiado inercial. Una vez que se ensamblan estos componentes, se prueban y se evalúa su rendimiento en estaciones de prueba operadas por ordenador. Los resultados de esta prueba producen datos que se utilizan tanto para caracterizar el instrumento, como la tasa de deriva y el factor de escala, como para definir las constantes del subsistema de guiado en el programa informático de vuelo.

- Argentina
- Brasil
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Federación Rusa
- Suecia
- Reino Unido
- Australia
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Pakistán
- República de Corea
- Ucrania
- Estados Unidos



**Otros usos:** El programa informático que se utiliza para operar equipos que fabrican componentes y subconjuntos de misiles también puede emplearse, con modificaciones, para controlar productos fabricados en las industrias de aviación civil y militar.

**Apariencia (como se fabrica):** Típicamente, el programa informático usado para producir conjuntos de cohetes toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, ópticos, magnéticos u otros. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este programa informático y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos, las unidades flash USB y los documentos que contienen programas informáticos de control de producción de misiles no se pueden distinguir de ningún

otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que los programas informáticos se ejecuten en el ordenador adecuado. Este programa informático, incluida la documentación, se puede transmitir a través de una red informática.

2.D.2. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de motores de cohetes o motores especificados en 2.A.1.c.

**Naturaleza y propósito:** El programa informático especialmente diseñado o modificado para su uso por motores cohete de propulsante sólido, híbrido o de gel o motores de cohete de propulsante líquido, generalmente se integra en el programa informático del ordenador de vuelo a bordo y puede realizar una multitud de tareas. Para motores de cohetes y motores, el programa informático controlará los datos del sensor para detectar presiones y temperaturas, etc. y controlará la secuencia de eventos, como encendido del motor, apagado del motor, encendido del generador de gas, iniciación del flujo del propulsante (numerosas aperturas y cierres de válvulas) y otros eventos discretos ya sea en el tiempo o en secuencia. Estos eventos pueden iniciarse ya sea por señales internas o externas desde la instalación de lanzamiento o el iniciador móvil, el sistema de navegación inercial, otros

sensores o el ordenador de vuelo. Para los motores de propulsante líquido, algunos aspectos del sistema de control del motor pueden integrarse en el programa informático del ordenador de vuelo a bordo, como el control de la presión de la cámara de combustión o la relación de mezcla del propulsante, este último utilizando mediciones de sensor de las cantidades de propulsante restantes en los tanques. Finalmente, ciertos elementos del subsistema de control del vector de empuje pueden considerarse partes del motor, como actuadores para una tobera con cardanes, sistemas de motor con cardanes o propulsores de control de altitud. El programa informático del ordenador de vuelo a bordo controlará estos elementos del subsistema de control de vector de empuje. Esta categoría también incluye programas informáticos de mantenimiento y diagnóstico especialmente diseñados que se utiliza para mantener motores de cohetes y motores. La mayoría del programa informático en esta categoría se usaría para realizar pruebas eléctricas automáticas, antes del vuelo.

**Método de operación:** El programa de vuelo recibe señales, como la señal de lanzamiento desde la instalación de lanzamiento o el lanzador móvil, y envía las señales en la secuencia adecuada para llevar a cabo la acción. Para algunos motores de cohete propulsante sólido, esto incluiría la señal necesaria para iniciar la carga pirogénica requerida para iniciar el grano propulsante sólido en la carcasa del motor. Para algunos motores de cohete de propulsante líquido, el ordenador de vuelo enviaría una señal para iniciar un generador de gas propulsante sólido para encender la (s) turbina (s) de la (s) turbobombas (s) mientras abre las válvulas para iniciar el flujo de propulsante en la cámara de combustión. Todas estas funciones se integrarán en el programa informático de vuelo que controla todas las funciones de misiles desde el lanzamiento. El ordenador de vuelo, a través de sus componentes del sistema de control, emite todos los comandos y señales necesarios para realizar un vuelo completo dentro de los parámetros de diseño. Si bien es teóricamente posible separar el motor o el programa informático de control del motor del ordenador de vuelo y el programa informático, es poco probable. El programa informático para el mantenimiento de estos motores podría ubicarse en la instalación de lanzamiento o en el programa informático del iniciador móvil, el programa informático de control de tierra a bordo o el equipo de diagnóstico autónomo.

**Usos típicos relacionados con misiles:** El programa informático de control del motor de cohete de propulsante sólido, híbrido o de gel o del motor de cohete de propulsante líquido generalmente está integrado en el programa informático de vuelo a bordo, de modo que el programa informático de vuelo lleva a cabo un control continuo de todos los subsistemas de misiles. El programa informático de mantenimiento puede ubicarse en la instalación de lanzamiento o en el iniciador móvil, en el programa informático de control de tierra a bordo o en equipos de diagnóstico autónomos.

**Otros usos:** N/C

**Apariencia (como se fabrica):** Típicamente, el programa informático utilizado para motores de cohetes o motores toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este programa informático y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos, las unidades flash USB y los documentos que contienen el motor de cohete o el programa informático de control del motor no se pueden distinguir de ningún otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que los programas informáticos se ejecuten en el ordenador adecuado. Este programa informático, incluida la documentación, puede transmitirse electrónicamente a través de una red informática.

2.D.3. "Programas informáticos", especialmente diseñados o modificados para la operación o mantenimiento de 'conjuntos de guiado' especificados en 2.A.1.d.

**Nota:**

2.D.3. incluye "programas informáticos", especialmente diseñados o modificados para mejorar el rendimiento de los 'conjuntos de guiado' para lograr o superar la precisión especificada en 2.A.1.d.

- Argentina
- Brasil
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Portugal
- República de Corea
- Suecia
- Estados Unidos
- Australia
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Pakistán
- Federación Rusa
- Ucrania
- Reino Unido

### Producción global



**Naturaleza y propósito:** En un sistema de cohete, los instrumentos de guiado y control se montan principalmente en una plataforma estable en la sección de guiado. La plataforma estable es controlada por el ordenador de vuelo. El programa informático en el ordenador de vuelo recopila información de los instrumentos montados en la plataforma, procesa los datos y emite señales al equipo en la plataforma para mantener su alineación y estabilidad. Cuando se lanza el cohete, el ordenador de vuelo continúa controlando la orientación de la plataforma estable durante todo el vuelo. Recopila información del acelerómetro e integra los datos para determinar la velocidad y la posición. También determina las desviaciones de la ruta de vuelo programada y emite señales de corrección al sistema de control de vuelo.

**Método de operación:** Los acelerómetros y giroscopios montados en la plataforma estable de un sistema de cohetes

detectan constantemente la aceleración debido a la gravedad local y las fuerzas de torsión causadas por la rotación de la Tierra. Estas fuerzas tienden a hacer que la plataforma recorra a menos que se corrija. El programa informático del ordenador de vuelo recopila y procesa los datos de respuesta de cada giroscopio, incorporando información sobre instrumentos individuales como sesgo, velocidad de deriva y desplazamiento, y emite señales para apretar motores montados en los cardanes para mantener la plataforma estable con respecto a una Tierra en rotación. Cuando se lanza el cohete, el ordenador de vuelo continúa controlando la orientación de la plataforma estable durante todo el vuelo. Recopila datos cambiantes del acelerómetro durante el lanzamiento y durante todo el vuelo motorizado e integra los datos para determinar la velocidad y la posición. Mientras el ordenador de vuelo realiza estos cálculos, determina las desviaciones detectadas de la ruta de vuelo programada y emite señales de corrección al sistema de control de vuelo. Cuando el ordenador determina que la velocidad es adecuada y el cohete está en la altitud correcta, emite una serie de comandos espaciados para terminar el empuje y (en algunos sistemas) para separar el vehículo de reentrada.

Los subsistemas de guiado de UAV, incluidos los de misiles de crucero, pueden usar sistemas de navegación integrados para aumentar los sistemas de inercia para volar con precisión al objetivo. Las salidas de estos sistemas están integradas en el ordenador de vuelo para producir una navegación altamente precisa. A medida que el ordenador de vuelo determina las desviaciones de la ruta de vuelo, emite la corrección de los comandos de dirección al sistema de control de vuelo para mantener una ruta y altitud de vuelo adecuadas.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Este programa informático se utiliza para operar y mantener el UAV o el sistema de cohetes durante el vuelo a su objetivo.

**Otros usos:** El programa informático en esta categoría tiene pocos usos que no están relacionados con los misiles, pero pueden emplearse en la industria de la aviación militar para mejorar los sistemas de guiado de la aeronave.

**Apariencia (como se fabrica):** Por lo general, este programa informático toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este programa informático y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos, las unidades flash USB y los documentos que contienen este programa informático no se pueden distinguir de ningún otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que los programas informáticos se ejecuten en el ordenador adecuado. Este programa informático, incluida la documentación, se puede transmitir a través de una red informática o Internet.



2.D.4. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la operación o mantenimiento de subsistemas o equipos especificados en 2.A.1.b.3.

- Argentina
- Brasil
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Portugal
- República de Corea
- Ucrania
- Estados Unidos
- Australia
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Pakistán
- Federación Rusa
- Suecia
- Reino Unido

Producción global



**Naturaleza y propósito:** El programa informático en el RV se usa para monitorear el subsistema de seguridad, armado, espoletado y disparo (SAFF) e integrar sistemas de navegación de terminal especializados diseñados para aumentar la precisión del RV.

**Método de operación:** La carga útil contenida en un RV de misil está diseñada para activarse (detonar, abrir, dispersar submuniciones, etc.) solo después de que el mecanismo SAFF haya determinado que se han satisfecho las restricciones de seguridad específicas. Estas restricciones incluyen la recepción de señales de sincronización, aceleración, desaceleración y barométricas, señales generadas por ordenador relacionadas con la precisión detectada del misil a la trayectoria programada, y otras determinadas por los diseñadores. El ordenador en el RV también opera un sistema de guiado de terminal, si está disponible, para dirigir con precisión el RV a su objetivo utilizando una serie de radares, sensores y componentes del subsistema de guiado configurados en un sistema de navegación integrado.

Algunas armas se activan con la señal de retorno de radar apropiada. El subsistema de radar debe probarse en bancos de prueba para confirmar su fiabilidad operativa. Los subsistemas RV completos se prueban y evalúan durante una serie de pruebas de vuelo y en tierra. Los sistemas de telemetría instalados en el subsistema de RV suministran datos de rendimiento operativo a las estaciones terrestres. El programa informático se utiliza para probar estos sistemas de telemetría antes de una prueba de vuelo para verificar la confianza de su operatividad.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Este programa informático se emplea para recopilar información de los sistemas de navegación integrados dentro del RV y para operar los sistemas de guiado de terminal y los mecanismos SAFF del vehículo de reentrada.

**Otros usos:** N/C

**Apariencia (como se fabrica):** Por lo general, este programa informático toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este programa informático y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos, las unidades flash USB y los documentos no se pueden distinguir de ningún otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que los programas informáticos se ejecuten en el ordenador adecuado. Este programa informático, incluida la documentación, se puede transmitir a través de una red informática.

2.D.5. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la operación o mantenimiento de subsistemas en 2.A.1.e.

- Argentina
- Brasil
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Portugal
- República de Corea
- Ucrania
- Estados Unidos
- Australia
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Pakistán
- Federación Rusa
- Suecia
- Reino Unido

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Este programa informático se utiliza para operar los subsistemas de control de vector de empuje (TVC) utilizados para controlar la trayectoria de un misil balístico y algunos misiles de crucero durante el impulso.

**Método de operación:** La trayectoria de un misil balístico se controla utilizando los subsistemas de control del vector de empuje. El ordenador de vuelo emite correcciones o señales de dirección al subsistema TVC para mover un actuador conectado a un motor de cohete de propulsante líquido, una tobera de motor de misil de propulsante sólido, un dispositivo de control de vector de empuje inyectado líquido, paletas de chorro u otro dispositivo para desviar el empuje. Una vez que el actuador se ha movido, la información de velocidad y distancia del sensor de posición TVC se envía de vuelta al ordenador como una señal de retroalimentación que luego se utiliza para modificar la corrección o el comando de dirección. El programa informático de control de vectores de empuje es casi una parte indistinguible de programa de vuelo a bordo.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Este programa informático se utiliza para operar los subsistemas de control de vector de empuje utilizados en misiles balísticos y algunos misiles de crucero.

**Otros usos:** También se puede utilizar un programa informático similar en la industria aeronáutica civil y militar. Las superficies de control de la superficie de sustentación utilizan servoaccionadores e indicadores de posición similares a los utilizados en los misiles balísticos.

**Apariencia (como se fabrica):** Por lo general, el programa informático utilizado para operar subsistemas de control de vectores de empuje toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este programa informático y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos, las unidades flash USB y los documentos que contienen este programa informático no se pueden distinguir de ningún otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que los programas informáticos se ejecuten en el ordenador adecuado. Este programa informático, incluida la documentación, se puede transmitir a través de una red informática.

2.D.6. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la operación o mantenimiento de subsistemas en 2.A.1.f.

**Nota:**

*Sujeto a declaraciones de uso final apropiadas para el uso final exceptuado, "programas informáticos" controlados por 2.D.2.*

- 2.D.6. puede tratarse como Categoría II de la siguiente manera:

1. Bajo 2.D.2. si está especialmente diseñado o modificado para motores de apogeo de propulsante líquido, diseñado o modificado para aplicaciones satelitales como se especifica en la Nota a 2.A.1.c.;
2. Bajo 2.D.3. si está diseñado para misiles con un "alcance" de menos de 300 km o aeronaves tripuladas;
3. Bajo 2.D.4. si está especialmente diseñado o modificado para vehículos de reentrada diseñados para cargas sin armas;
4. Bajo de 2.D.5. si está diseñado para sistemas de cohetes que no excedan la capacidad de "carga útil" de "alcance" de los sistemas especificados en 1.A.;
5. Bajo 2.D.6. si está diseñado para sistemas distintos a los especificados en 1.A.

- Argentina
- Brasil
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Portugal
- República de Corea
- Ucrania
- Estados Unidos
- Australia
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Pakistán
- Federación Rusa
- Suecia
- Reino Unido

Producción global



**Naturaleza y propósito:** El programa informático en el RV se usa para monitorear el subsistema de seguridad, armado, espoletado y disparo (SAFF), ubicado en el RV.

**Método de operación:** La carga útil contenida en un vehículo de reentrada de misiles está diseñada para activarse (detonar, abrir, dispersar submuniciones, etc.) solo después de que el mecanismo SAFF haya recibido datos y se hayan satisfecho determinadas restricciones de seguridad específicas. Estas restricciones incluyen la recepción de señales de sincronización, aceleración, desaceleración y barométricas, señales generadas por ordenador relacionadas con la precisión detectada del misil a la trayectoria programada, y otras determinadas por los diseñadores.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Este programa informático se utiliza para mantener la seguridad del vehículo de reentrada y la carga útil almacenada dentro.

**Otros usos:** N/C.

**Apariencia (como se fabrica):** Por lo general, este programa informático toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este programa informático y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos, las unidades flash USB y los documentos no se pueden distinguir de ningún otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que los programas informáticos se ejecuten en el ordenador adecuado. Este programa informático, incluida la documentación, se puede transmitir a través de una red informática.

Los motores de apogeo de cohete propulsante líquido diseñados o modificados con el fin de proporcionar la combustión final para que un satélite lo coloque en una órbita predeterminada siempre se alimentan a presión. En otras palabras, no se usan turbobombas porque es más rentable presurizar tanques de propulsores relativamente pequeños usando una botella de helio de alta presión. A nivel de subsistema, el programa informático para el uso del subsistema de propulsión de apogeo líquido incluye un programa de simulación de trayectoria; habitualmente, dicho código de ordenador simularía el movimiento en tres dimensiones con seis grados de libertad. Los códigos estándar de este tipo se pueden usar para cualquier misil o vehículo de lanzamiento espacial de cualquier tamaño, y algunos de ellos son de dominio público. Los que se han adoptado para motores de apogeo específicos o motores de mantenimiento de estación deben evaluarse a la luz del subsistema para el que fueron diseñados.

## 2.E. Tecnología

2.E.1. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos o "programas informáticos" especificados en 2.A., 2.B. o 2.D.

**Naturaleza y propósito:** La tecnología controlada según el punto 2.E.1. cubre las instrucciones y los conocimientos necesarios para desarrollar, producir o usar cualquiera de los equipos o programas informáticos especificados en 2.A., 2.B. o 2.D.

**Método de operación:** La asistencia técnica está disponible de muchas formas. La asistencia técnica puede consistir en la instrucción proporcionada por una persona con experiencia en uno o más temas controlados (como motores de cohete de propulsante líquido) que actúa como formador en un aula en o cerca del sitio de producción. Un país puede recibir asistencia técnica de uno o más servicios de consultoría que se especializan en un proceso controlado o que ayudan a adquirir componentes o materiales que son difíciles de obtener. Además, un país puede recibir asistencia técnica enviando estudiantes a otros países que posean la tecnología requerida para que puedan aprender y practicar las habilidades necesarias para construir los subsistemas requeridos. Todos los manuales y materiales recibidos durante la capacitación pueden calificar como datos técnicos.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Con excepciones limitadas, la asistencia técnica requerida para construir sistemas de misiles balísticos se usa solo para ese propósito. Como se señaló anteriormente, los cohetes de sondeo utilizados en la investigación del clima, con pequeños ajustes, se pueden convertir en misiles balísticos. La "tecnología" utilizada en cada dispositivo es muy similar.

**Otros usos:** N/C

**Apariencia (como se fabrica):** N/C

**Apariencia (como empaquetado):** N/C

Categoría II - Artículo 3  
Componentes y equipos de  
propulsión

Categoría II - Artículo 3: Componentes y equipos de propulsión

3.A. Equipos, ensamblajes y componentes

Motores turbo reactores y turbo ventiladores, según se indica:

a. Motores que tengan las dos características siguientes:

1. 'Valor de empuje máximo' superior a 400 N (logrado sin instalar) excluyendo motores con certificación civil con un 'valor de empuje máximo' superior a 8,89 kN (logrado sin instalar); y
2. Consumo específico de combustible de 0,15 kg N-1 h-1 o menos (a la potencia máxima continua en condiciones estáticas a nivel del mar utilizando la atmósfera estándar de la OACI);

**Nota técnica:**

En 3.A.1.a.1., El "valor de empuje máximo" es el empuje máximo demostrado por el fabricante para el tipo de motor no instalado El valor de empuje certificado de tipo civil será igual o menor que el empuje máximo demostrado por el fabricante para el tipo de motor.

b. Motores diseñados o modificados para sistemas especificados en 1.A. o 19.A.2., independientemente del empuje o el consumo específico de combustible.

**Nota:**

Los motores especificados en 3.A.1. pueden exportarse como parte de una aeronave tripulada o en cantidades apropiadas para piezas de repuesto para una aeronave tripulada.

- China
  - República Checa
  - Alemania
  - Israel
  - Federación Rusa
  - Suecia
  - Estados Unidos
- Francia
  - Ucrania
  - India
  - Japón
  - Sudáfrica
  - Reino Unido

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Motores turbo reactores y turbo ventiladores controlados por 3.A.1. son aquellos que pueden impulsar vehículos aéreos no tripulados (UAV), incluidos misiles de crucero, grandes distancias. Son similares en diseño y operación a los motores que impulsan aviones civiles, pero de menor tamaño y potencia. Hacen que los misiles de crucero de largo alcance sean operacionalmente prácticos.

**Método de operación:** Los motores de turbina de gas<sup>1</sup> tienen varios subcomponentes, incluido el ventilador (en el caso de un turbo ventilador), el compresor, la cámara de combustión y la turbina. El compresor, que puede consistir en una o más etapas de paletas seccionales y giratorias alternadas de la sección del perfil aerodinámico, aspira aire, lo presuriza y lo introduce en la cámara de combustión.

<sup>1</sup> El término "turbina de gas" puede usarse indistintamente con "turbo reactor" o "turbo ventilador" en toda esta sección.

La cámara de combustión es un tubo resistente al calor en el que el aire se mezcla con combustible vaporizado y luego se enciende. Las bujías (llamadas encendedores) inician la combustión, que es continua una vez que se ha producido el encendido. Los productos de combustión, o gases de escape, luego pasan a la turbina, que consta de una o más etapas de paletas de sección de superficie aerodinámica estacionarias y giratorias. La turbina extrae solo suficiente energía de la corriente de gas para accionar el compresor; la energía restante proporciona el empuje. El flujo de gas luego pasa a un conducto convergente, o tobera, para maximizar el empuje producido por el motor. En el caso de un motor de turboventilador, hay una etapa de ventilador multipaleta de mayor diámetro frente al compresor. Los motores de turboventilador suelen tener un mayor empuje y una mejor eficiencia de combustible que los motores de turborreactor.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Estos motores se utilizan para alimentar los sistemas de UAV, incluidos los misiles de crucero.

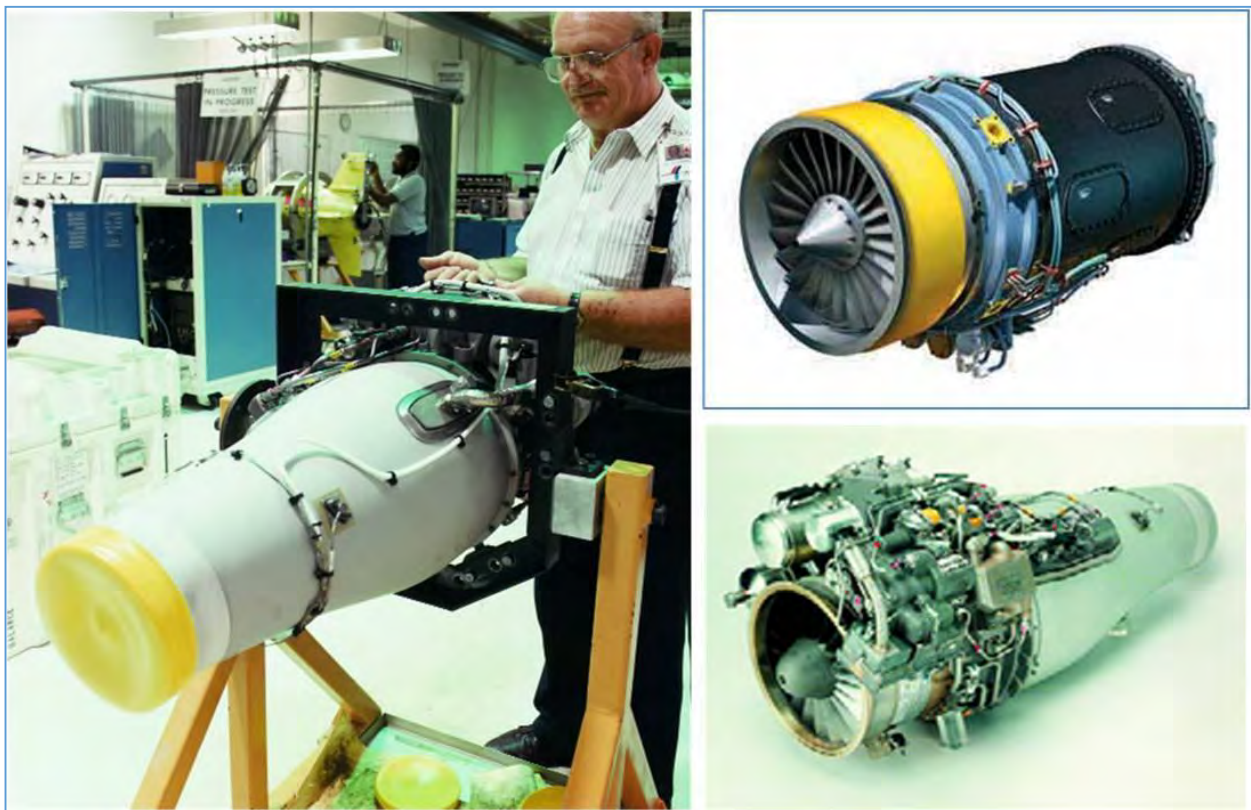


Imagen 28: *Izquierda:* Un pequeño motor de turboventilador para un misil de crucero en su puesto de caja. (Manual de anexo de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005)) Arriba a la derecha: Un turboventilador utilizado para alimentar un UAV HALE. (Rolls Royce Group, plc) Abajo a la derecha: Un pequeño motor de turboventilador para un misil de crucero. (Williams International)

**Otros usos:** Dichos motores generalmente no están diseñados exclusivamente para misiles de crucero y otros propósitos de UAV y pueden usarse directamente en otras aplicaciones, como aviones tripulados y helicópteros. Los motores de turbina de gas también se utilizan en las industrias marinas y generadoras de energía y en algunos vehículos terrestres. Los derivados marinos de motores de turbina impulsan buques navales y civiles.

**Apariencia (como se fabrica):** El típico motor de turbina de gas pequeño es cilíndrico y mide menos de 1 m de longitud y 0,5 m de diámetro. Numerosos accesorios como un alternador, bomba hidráulica, bomba de combustible y válvula dosificadora, junto con las tuberías y el cableado asociados, son visibles en el exterior del motor.

Los motores pequeños que ahorran combustible suelen pesar de 30 kg a 130 kg; los motores más grandes, como el que se muestra en la Imagen 28 (arriba a la derecha), tienen diámetros de alrededor de 1 m y tienen 3 m de longitud. Las piezas del motor se fabrican a partir de varios materiales diferentes, tanto metálicos como no metálicos en su composición. Los materiales metálicos comunes incluyen aluminio, acero, titanio y aleaciones especiales. Los materiales no metálicos como el teflón, nylon, carbono y caucho se utilizan para sellar y aislar.

**Apariencia (como empaquetado):** Los motores generalmente están preparados para su envío en un proceso de varios pasos. Las placas de cubierta se unen sobre la entrada y el escape del motor, y se aseguran con cinta adhesiva. El motor está cubierto con papel protector y las bolsas desecantes están pegadas a la envoltura del motor (Imagen 29). El motor se envuelve en cartón corrugado, se inserta en una bolsa de polietileno, se baja en el cajón de envío y se apoya sobre bloques de espuma. La caja se llena con espuma y se sella. Debido a que los motores de misiles de crucero a menudo incorporan características de arranque automático mediante el uso de cartuchos pirotécnicos, cuando se empaquetan adecuadamente, sus contenedores de envío generalmente llevan marcas que indican la presencia de explosivos.



Imagen 29: *Izquierda:* Un cajón de envío de un turbo reactor que muestra las etiquetas de advertencia de explosivos necesarias debido al cartucho de arranque. (Teledyne Ryan Aeronautical) *Centro:* Un pequeño motor de turboventilador envuelto en plástico dentro de su cajón de envío. (Teledyne Ryan Aeronautical) *Derecha:* Un pequeño motor turbo reactor en preparación para su envío. (Teledyne Ryan Aeronáutica)

3.A.2. Motores de un estatorreactor/estatorreactor de combustión supersónica/pulsorreactor/ 'ciclo combinado', incluidos dispositivos para regular la combustión, y componentes diseñados especialmente para ellos, utilizables en los sistemas especificados en 1.A. o 19.A.2.

**Nota técnica:**

*En el artículo 3.A.2., 'Motores de ciclo combinado' son los motores que emplean dos o más ciclos de los siguientes tipos de motores: motor de turbina de gas (turbo reactor, turbohélice, turboventilador y turboeje), estatorreactor, estatorreactor de combustión supersónica, pulsorreactor, motor de detonación por pulsos, motor de cohete (líquido/sólido-propulsante e híbrido).*

**Naturaleza y propósito:** Los motores de un estatorreactor, estatorreactor de combustión supersónica y pulsorreactor son motores de reacción de combustión interna que queman combustible mezclado con aire de admisión y expulsan un chorro de gases de escape calientes para impulsar los vehículos aéreos, incluidos los misiles de crucero. Debido a que estos motores tienen muy pocas partes móviles (no tienen compresores mecánicos), son mucho más simples y potencialmente menos costosos que los motores turbo reactores o turboventiladores. Dado que los turbo reactores y estatorreactor de combustión supersónica pueden tolerar temperaturas de combustión mucho más altas que los motores turbo reactores y turboventiladores, son la única opción práctica para un vuelo sostenido a altas velocidades supersónicas. Los motores de ciclo combinado integran dos sistemas de propulsión (por ejemplo, turbo reactor y estatorreactor o estatorreactor de combustión supersónica) en un solo conjunto para poder funcionar desde el reposo a velocidades supersónicas. Un pulsorreactor



es otro tipo de compresor sin motor a reacción; sin embargo, a diferencia de los estatorreactores, la combustión tiene lugar de manera intermitente (en pulsos), y pueden producir empuje en reposo.

**Método de operación:** Los estatorreactores capturan el aire y lo dirigen al motor mientras se mueven a través de la atmósfera. El aire es comprimido por el "efecto ram" y disminuido a velocidades subsónicas por difusión dentro del conducto de entrada. Se agrega combustible y la mezcla se enciende. El empuje se produce por la expulsión de gases de escape calientes a través de una tobera. Los estatorreactores generalmente operan entre Mach 2 y 3, pero pueden operar en un amplio rango de velocidades, desde números de Mach subsónicos altos a velocidades supersónicas de hasta Mach 4. La desventaja principal de los estatorreactores es que no pueden generar empuje a velocidad de vuelo cero, por lo que deben ser acelerados por alguna otra forma de propulsión a la velocidad de arranque necesaria, típicamente 650 km por hora o más. A menudo se usa un pequeño motor de cohete de propulsante sólido en el lanzamiento para este propósito y se desecha después de que se inicia el estatorreactores/estatorreactor de combustión supersónica.

Un "estatorreactor de combustión supersónica" es una contracción de un "estatorreactor de combustión supersónica". Funciona como el estatorreactor, pero el aire que ingresa al motor no se ralentiza tanto y la combustión ocurre mientras el aire en el motor es supersónico. Los estatorreactores de combustión supersónica generalmente operan a velocidades entre Mach 5 y 7. Los estatorreactores de combustión supersónica se deben impulsar a una velocidad adecuada (sobre Mach 4) para permitir el encendido.

Un pulsorreactor produce empuje por una serie de explosiones que ocurren a la frecuencia de resonancia aproximada del motor. En un diseño, el aire es atraído a través de válvulas abiertas en la parte delantera del motor y es calentado por el combustible quemado inyectado. Los gases ardientes se expanden. A medida que aumentan la presión, cierran las válvulas de entrada y escapan como un chorro a través del conducto de escape. A medida que se expulsan los gases de escape, la presión en la cámara de combustión disminuye, permitiendo que las válvulas de admisión delanteras se abran nuevamente, luego el ciclo se repite.



Imagen 30: Parte superior: Un gran motor de estatorreactor. (March Field Air Museum) Medio: Un motor de estatorreactor de combustión supersónica completa una prueba Mach 5 en una instalación de túnel de viento. (Pratt & Whitney/NASA) Parte inferior: Un moderno motor de pulsorreactor con una admisión orientada hacia atrás. (Thermojet)

•China	•Francia
•Alemania	•India
•Israel	•Japón
•Federación Rusa	•Sudáfrica
•Suecia	•EE. UU.

Producción global



La función de las válvulas de admisión es evitar la inversión del flujo en la entrada. Sin embargo, la prevención de la inversión del flujo se puede lograr sin el uso de válvulas, mediante el uso adecuado del diseño del área del conducto de entrada y la comprensión de los fenómenos de onda. Al extender la longitud del conducto de entrada o al usar rectificadores de flujo (es decir, pasajes de menor resistencia al flujo en una dirección que en la dirección opuesta), los efectos de la inversión del flujo pueden inhibirse. Algunas configuraciones de pulsorreactor sin válvula también conservan el empuje al girar el conducto de admisión 180 grados hacia la corriente libre (mirando hacia atrás en lugar de hacia adelante). Los pulsorreactores suelen funcionar a velocidades subsónicas.

El motor de ciclo combinado turborreactor/estatorreactor funciona como un turborreactor de postcombustión hasta que alcanza una alta velocidad de Mach, momento en el cual se desvía el flujo de aire alrededor del compresor hacia el postquemador. El motor funciona entonces como un estatorreactor con el postquemador actuando como la cámara de combustión del estatorreactor.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Estos motores se pueden usar para alimentar misiles de crucero y otros tipos de UAV. Los motores del estatorreactor y de ciclo combinado proporcionan mayor velocidad y rendimiento que los motores turborreactores y turboventiladores con un volumen y peso mínimos; sin embargo, no son particularmente eficientes en combustible. Los estatorreactor producen sustancialmente más potencia por unidad de volumen y, por lo general, ofrecen un alcance y/o capacidad de carga útil mucho mayor que los motores de cohetes sólidos. Los pulsorreactores tienen un rendimiento relativamente pobre y una baja eficiencia de combustible, pero son relativamente fáciles de diseñar y fabricar.

**Otros usos:** Los motores de estatorreactores y de ciclo combinado (turborreactor) se han utilizado para impulsar aviones tripulados de alta velocidad.

**Apariencia (como se fabrica):** Los estatorreactores pueden montarse en cápsulas cilíndricas unidas al misil en varios lugares o incorporarse al cuerpo del misil. Estos motores a menudo se asemejan a una tubería metálica con un tapón cónico en la entrada para controlar el flujo de aire y una tobera cónica acampanada en el extremo opuesto. Un estatorreactor típico para el uso de misiles puede medir de 2 m a 4,5 m de longitud y 0,3 m a 1,0 m de diámetro, y pesar hasta 200 kg. Un ejemplo de un estatorreactor relativamente grande se muestra en la Imagen 30 (arriba). Un estatorreactor de combustión supersónica puede verse como una simple caja metálica con entradas afiladas. En la Imagen 30 (en el centro) se muestra un estatorreactor de combustión supersónica en desarrollo para alimentar un misil lanzado desde el aire. Los pulsorreactores se caracterizan por su larga cavidad cilíndrica de resonador conectada a un mecanismo de control bulboso hacia el frente.

**Apariencia (como empaquetado):** Estos motores están embalados como motores turborreactores y turboventiladores cubiertos en 3.A.1. arriba; sin embargo, es más probable que se envíen en cajones de madera o metal.

**Dispositivos para regular la combustión en estatorreactores, estatorreactores de combustión supersónica y pulsorreactores y motores de ciclo combinado**

**Naturaleza y propósito:** Los estatorreactores, estatorreactor de combustión supersónica, pulsorreactores y motores de ciclo combinado a menudo se requieren para trabajar en una amplia gama de velocidades, algunas de las cuales pueden degradar el rendimiento del motor. Dispositivos que regulan la combustión alterando las características del flujo de aire y combustible en vuelo, típicamente se integran en el motor. Los elementos esenciales de un sistema para regular estatorreactores son divisores de flujo, sistemas de inyección de combustible, encendedores, dispositivos de retención de llama y un ordenador de control de potencia.

**Método de operación:** El sistema de control para un motor estatorreactor realiza dos funciones básicas: mantiene el rendimiento deseado del motor durante todo el vuelo del vehículo y minimiza la desviación del rendimiento deseado durante los transitorios.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los dispositivos que regulan la combustión pueden hacer que estos motores funcionen eficientemente durante todo su vuelo y, por lo tanto, aumentar la velocidad y el alcance de los misiles. Estos dispositivos suelen ser específicos para la aplicación del motor y la configuración de misiles para los que están diseñados.

**Otros usos:** Los divisores de flujo, los dispositivos de medición e inyección de combustible y los soportes de llama que se encuentran en estatorreactores son similares en concepto a los dispositivos que se encuentran en turborreactores y turboventiladores de combustión posterior. Sin embargo, los dispositivos no son intercambiables.

**Apariencia (como se fabrica):** Los dispositivos para enderezar el flujo, como los divisores de flujo, las placas separadoras, las paletas giratorias, las pantallas o las rejillas aerodinámicas (Imagen 31) minimizan la distorsión del flujo de aire y sus efectos adversos sobre la distribución y la combustión del combustible.

El combustible utilizado en estatorreactores se alimenta a la sección de combustión con la ayuda de una bomba y se varía mediante el uso de dispositivos de medición como orificios o válvulas. Los inyectores de combustible dispersan el combustible en el aire en la sección de combustión. Los motores de estatorreactor requieren un control de combustible (ordenador) para determinar la posición correcta de los dispositivos de medición de flujo de combustible en función de las condiciones de vuelo. Estos sistemas suelen ser hidromecánicos o, cada vez más, dispositivos electrónicos.

Los encendedores para estatorreactores toman una de varias formas. Los estatorreactores pueden usar inyectores líquidos de chispa eléctrica, pirotecnia, pirofóricos o hipergólicos (autoinflamables). Los líquidos hipergólicos se inyectan en la región estancada aguas abajo del soporte de la llama. Se pueden transportar cantidades excedentes del líquido del encendedor para permitir múltiples reinicios. Los titulares de llama se utilizan como un medio para estabilizar la llama producida por la combustión y para promover una combustión adicional. El soporte de la llama está diseñado para proporcionar una región de baja velocidad a la cual los productos de combustión calientes se recirculan al soporte de la llama. Estos gases calientes sirven como medio para encender la mezcla fresca de combustible y aire a medida que fluye más allá del deflector.

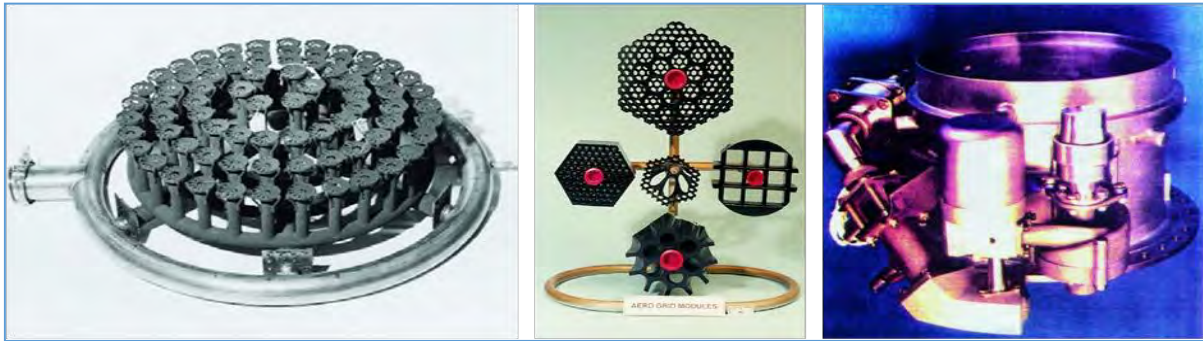


Imagen 31: *Izquierda:* Un conjunto de colector de combustible e inyector de combustible centrífugo para un motor estatorreactor. (Kaiser Marquardt) *Centro:* Varias rejillas aerodinámicas se utilizan para enderezar el flujo de aire en un motor estatorreactor. (Kaiser Marquardt) *Derecha:* Un sistema de gestión de combustible para un motor estatorreactor. (Kaiser Marquardt)

**Apariencia (como empaquetado):** Las rejillas aerodinámicas, las cámaras de combustión y los soportes de llama son parte integral del estatorreactor y, por lo tanto, se envían junto con el motor principal. Las excepciones son las bombas de combustible, los encendedores o los controles de combustible, que pueden enviarse por separado y luego montarse en el cuerpo del motor durante el montaje. Estas piezas se envían en contenedores de madera o cartón.

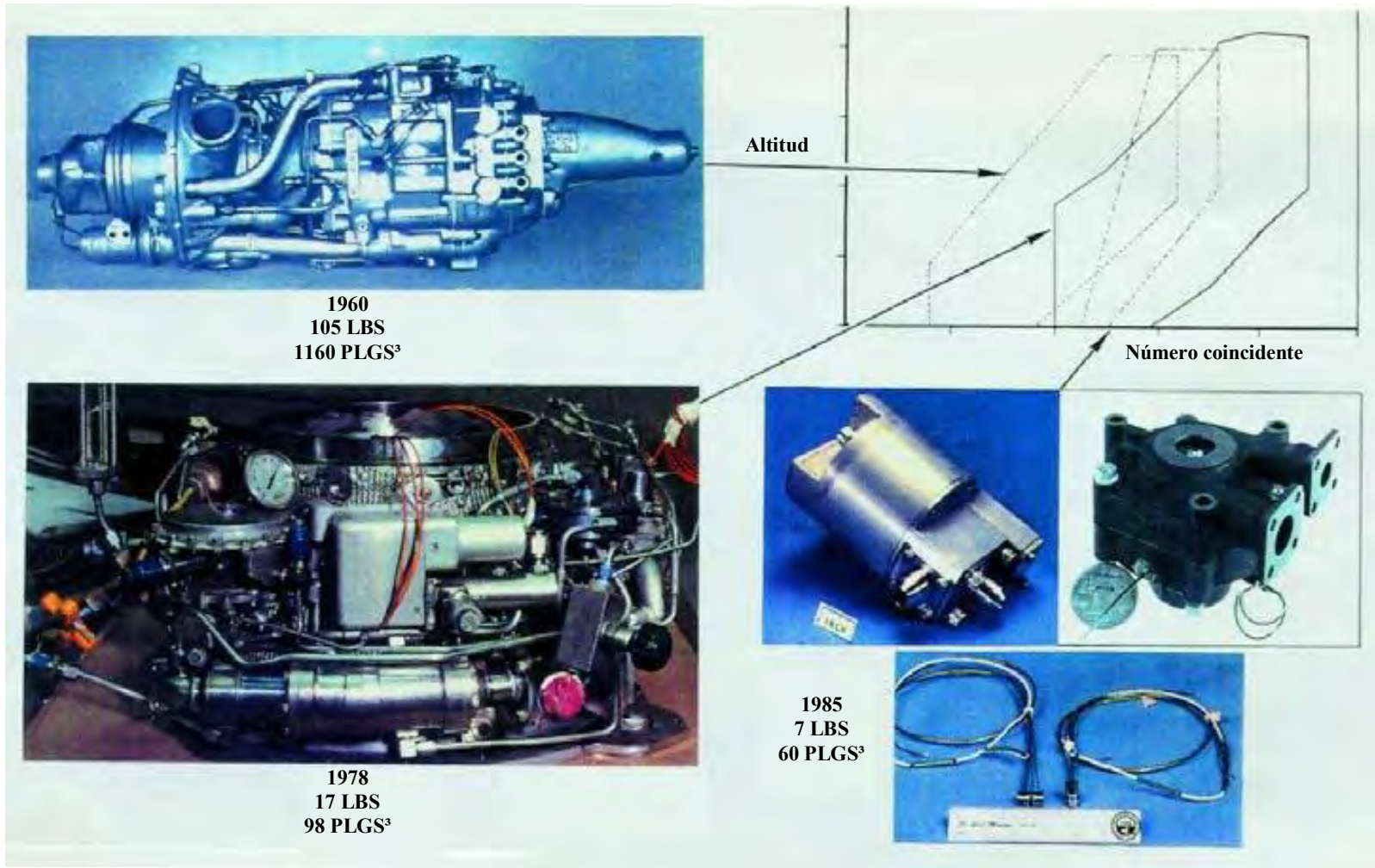


Imagen 32: La tecnología de control de combustible de estatorreactor ha progresado significativamente desde la década de 1960. (Kaiser Marquardt)

3.A.3. Carcasas de motores de cohetes, componentes de 'aislamiento' y toberas para los mismos, utilizables en los subsistemas especificados en 2.A.1.c.1. o 20.A.1.b.1.

**Nota técnica:**

En 3.A.3. El 'aislamiento' destinado a ser aplicado a los componentes de un motor de cohete, es decir, la caja, las entradas de tobera, los cierres de la caja, incluye componentes de caucho compuestos curados o semicurados que comprenden láminas que contienen un material aislante o refractario. Puede estar incorporado también como botas o aletas de alivio de tensión.

**Nota:**

Consulte 3.C.2. para material de "aislamiento" indiferenciado o laminado.

- Brasil
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Federación Rusa
- Suecia
- Reino Unido
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Noruega
- Sudáfrica
- Ucrania
- Estados Unidos



**Naturaleza y propósito:** Las carcasas de motores de cohetes son los principales componentes estructurales de los motores de cohetes sólidos o híbridos. Las carcasas son los contenedores cilíndricos del propulsante. Utilizan materiales especiales para resistir las presiones y el calor de la combustión.

Las toberas de cohetes son constrictoras de flujo con estructuras en forma de campana instaladas en el extremo de escape de un motor de cohete de propulsante sólido o un motor de cohete de propulsante híbrido. Su diseño controla el flujo de gases de escape calientes para maximizar la velocidad en la dirección deseada y así mejorar el empuje.

**Método de operación:** Las carcasas de motores de cohetes son recipientes a presión que se utilizan para contener los gases calientes generados por el proceso de combustión del propulsante. Durante el lanzamiento y el vuelo de misiles, los propulsores en llamas crean una gran cantidad

de gases de combustión. Estos gases calientes se expanden y aceleran a través de la tobera del motor del cohete para producir empuje. El forro protector y el aislamiento son materiales de baja densidad y alta resistencia al calor que proporcionan capas protectoras entre el propulsante de combustión y la carcasa.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Todos los motores de cohete propulsante sólido usan carcasas de motor y forro protector o aislamiento. Tales casos generalmente están diseñados para cumplir requisitos específicos de misiles particulares. Las carcasas, el forro protector y el aislamiento son fundamentales para mantener la integridad de los motores de cohetes sólidos.

Las toberas de cohete gestionan los gases de combustión para garantizar un funcionamiento eficiente del cohete. Las toberas de cohete bien diseñadas mejoran la capacidad de alcance. Las toberas se utilizan en grandes etapas de motores de cohetes individuales que suministran el empuje principal para un misil balístico; en los pequeños motores de control que dirigen, separan o hacen girar el misil a lo largo de su trayectoria de vuelo; y en cohetes de refuerzo que lanzan UAV, incluidos misiles de crucero.

**Otros usos:** Los materiales de la carcasa del motor se utilizan en aplicaciones de alta presión, como tuberías. Algunos materiales utilizados en los forros protectores o el aislamiento de motores de cohetes se utilizan en aplicaciones militares o comerciales que requieren materiales resistentes al calor. Los motores de cohetes (y por lo tanto las toberas) se han utilizado para propulsar aviones tripulados experimentales como los aviones de investigación X-1 y X-15.



Imagen 33: *Izquierda:* Una selección de carcasas de motores de cohetes compuestos diseñados para soportar una gama de plataformas de misiones, incluidas las etapas de cohetes de primera, segunda y tercera etapa de un vehículo de lanzamiento espacial. (ATK) *Derecha:* Un motor de cohete, instalado en una carcasa, que funciona como la tercera etapa de un vehículo de lanzamiento. (ATK)

**Apariencia (como se fabrica):** Una carcasa de motor de cohete es un cilindro grande de acero o de filamentos compuestos con domos esféricos o elipsoidales en ambos extremos. Una carcasa de motor para un artículo 2.A.1.c. El motor del cohete normalmente tendría más de 4 m de longitud y 0,5 m de diámetro. Cada uno de los domos generalmente tiene un agujero; el orificio pequeño en el extremo frontal es para el iniciador, y el orificio grande en el extremo posterior es para la tobera. En la Imagen 33 se muestra una selección de carcasas de motores de cohetes que muestran estas características. Un forro protector es una capa delgada de productos químicos especiales que se utilizan para ayudar al propulsante sólido a adherirse al aislamiento de la carcasa. Este forro generalmente se aplica a la carcasa antes del lanzamiento del propulsante.

La carcasa puede o no tener aislamiento interno en su lugar cuando se envía. El aislamiento del motor de cohete generalmente está hecho de material de caucho sintético como el etileno propileno dieno monómero (EPDM), polibutadieno, neopreno o caucho de nitrilo. El material de aislamiento contiene sílice o asbesto y se asemeja a una lámina de goma gris o verde de aproximadamente 2 mm a 6 mm de espesor.

La forma de una tobera de cohete es similar a un reloj de arena (convergente-divergente) o cónica que se extiende hacia atrás desde la sección del orificio estrecha en el extremo posterior del motor de cohete de propulsante sólido.

La Imagen 34 muestra una vista en corte de un motor de cohete propulsante sólido y donde la tobera encaja en el extremo trasero del motor. Las toberas modernas para motores de cohetes de propulsante sólido casi siempre están hechas de materiales compuestos de carbono o combinaciones de materiales compuestos de carbono y fenólicos de sílice. Las secciones de compuesto de carbono son generalmente negras; las secciones fenólicas son a menudo de color amarillento.

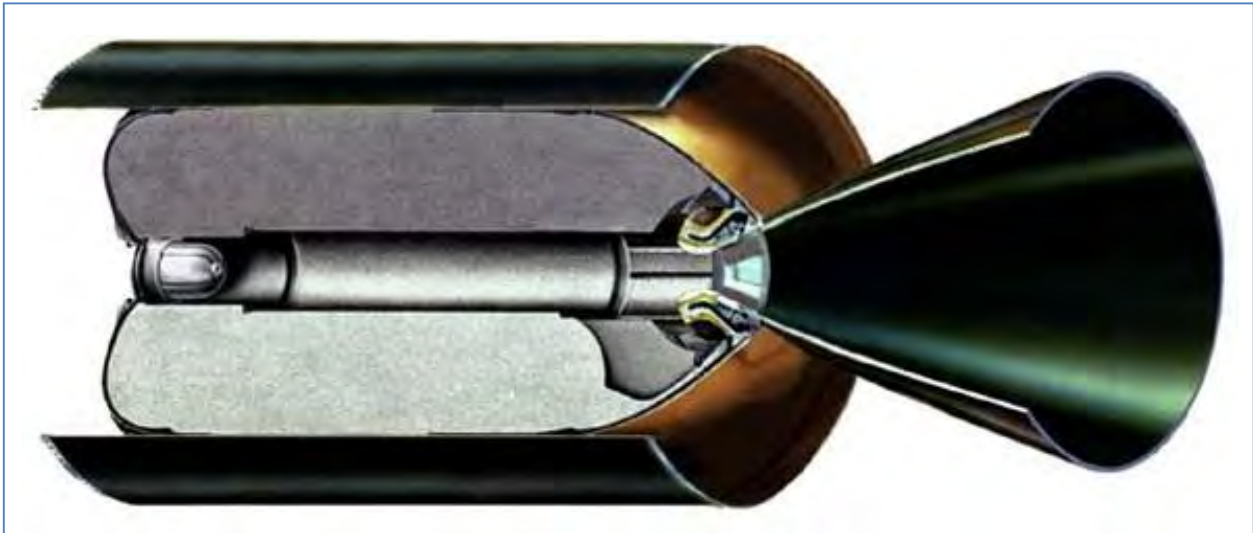


Imagen 34: Una vista en corte de un motor cohete propulsante sólido que muestra dónde se inserta la tobera del cohete. También se muestra el iniciador en la parte superior del motor. (Reactivo)

El tamaño de la tobera depende del tamaño del cohete y la aplicación. Las toberas grandes destinadas a motores de cohete de propulsante sólido se construyen cada vez más como toberas móviles. En una aplicación de este tipo, el extremo delantero de la tobera tiene dispositivos y aislantes que le permiten unirse al domo trasero del motor en una disposición de bola en el zócalo. Estas toberas pueden tener de 2 a 4 orejetas en la pared exterior a las que están sujetos los actuadores de movimiento, o los actuadores pueden conectarse cerca del orificio. Las toberas muy avanzadas pueden ser extensibles, lo que significa que se almacenan en una configuración colapsada y se extienden a sus dimensiones completas cuando es necesario.



Imagen 35: Un motor cohete con una gran tobera inclinada fija. El motor se usa en un vehículo de lanzamiento. (ATK)

**Apariencia (como empaquetado):** Las carcasas de motor de cohete (Imagen 36) se envían en grandes cajones de madera o metal que contienen espuma de embalaje u otro material para protegerlas de golpes durante el envío. El material de aislamiento se envía en rollos grandes de hasta 1 m de ancho y 0,5 m de diámetro y sellado en cajas.



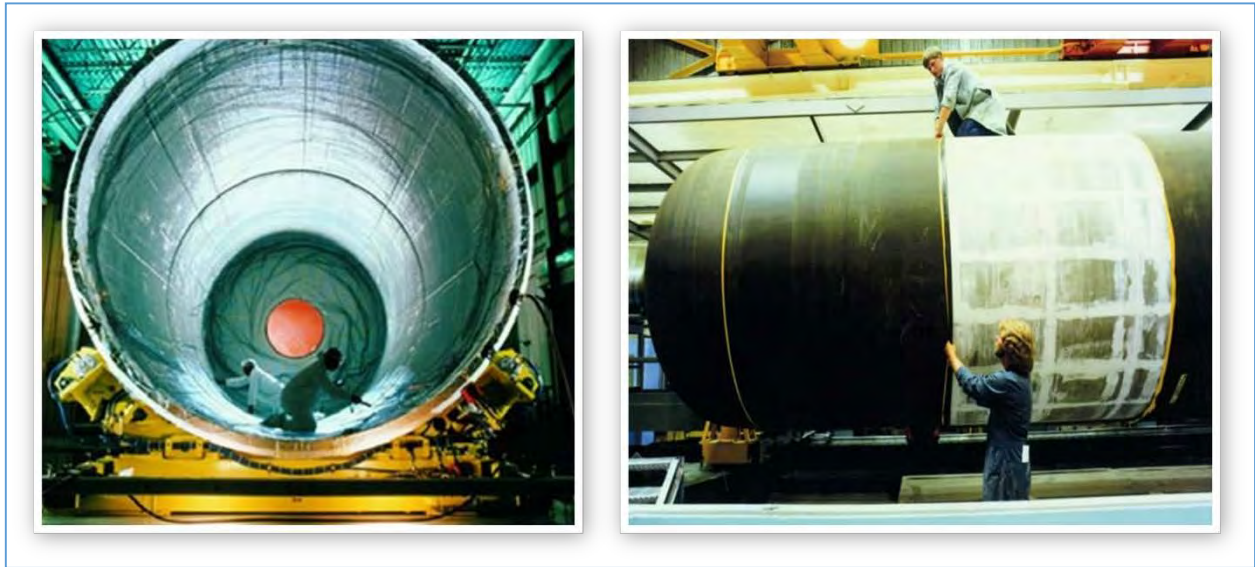


Imagen 36: *Izquierda:* Instalación de aislamiento dentro de una carcasa de motor de cohete de filamentos bobinados. (Thiokol Corp.)  
*Derecha:* Una carcasa de motor de cohete bajo inspección después de la aplicación del aislamiento térmico. (Fiat Avio)

Los contenedores de envío para las toberas de cohete son de dos tipos, dependiendo del tamaño de la tobera. Las toberas pequeñas con un diámetro de salida no superior a 50 cm tienen recipientes a medida, incluso carcasas metálicas. Las toberas más grandes generalmente tienen contenedores de envío hechos a medida de madera o fibra de vidrio. También se pueden usar envolturas plásticas protectoras, dependiendo de la capacidad de control ambiental del contenedor de envío.

3.A.4. separaciones, mecanismos de separación y etapas intermedias para los mismos, utilizables en los sistemas especificados en 1.A.

**Nota:**

Ver Artículo 11.A.5.

**Nota técnica:**

Mecanismos de etapas y de separación especificados en 3.A.4. puede contener algunos de los siguientes componentes:

- Pernos pirotécnicos, tuercas y grilletes;
- Cierres de bola;
- Dispositivos de corte circular;
- Cargas flexibles de forma lineal (FLSC).

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| • China           | • Francia         |
| • Alemania        | • India           |
| • Israel          | • Italia          |
| • Japón           | • Corea del Norte |
| • Federación Rusa |                   |
| • Reino Unido     | • Estados Unidos  |

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los mecanismos de estadificación aseguran la separación segura y fiable de dos etapas de misiles después de la terminación del empuje de la etapa inferior. Esta separación se logra mediante mecanismos de separación relativamente simples, los más comunes son los pernos explosivos y las cargas flexibles de forma lineal (FLSC). Los pernos explosivos unen las etapas de misiles a través de interetapas de carga especialmente construidas con bridas en los extremos y, en señal, explotan para permitir que las dos etapas se separen. Se utiliza un FLSC incorporado para hacer un corte circunferencial a través de la piel y la estructura interetapas para permitir la separación de la etapa. Se pueden utilizar dispositivos mecánicos, hidráulicos o neumáticos para ayudar a separar las etapas. Del mismo modo, los mecanismos como los bloqueos de bola se utilizan para separar la carga útil de la etapa superior de misiles al final del vuelo propulsado.

Una interetapas es una estructura cilíndrica o truncada en forma de cono que conecta dos etapas de propulsión de misiles (Imagen 37, izquierda y centro). Una interetapas es, en principio, una simple pieza de equipo, pero las conexiones eléctricas necesarias, los mecanismos de separación y las altas relaciones resistencia/peso lo hacen bastante complejo en su adaptación a misiles específicos. Una estructura interetapas también puede ser un marco de armazones sin piel. El propósito de una interetapa es mantener la integridad del misil durante el lanzamiento y el vuelo, y asegurar la separación de la etapa sin dañar ningún componente del misil o efecto adverso sobre la velocidad.

**Método de operación:** Cuando el propulsante en cualquier etapa de misil está casi agotado, el conjunto de guiado ordena al equipo informático de separación que libere la etapa inferior gastada del entre etapas que lo conecta a

la próxima etapa. Esta señal electrónica dispara detonadores que, a su vez, activan mecanismos de separación como pernos explosivos o FLSC que cortan la conexión estructural y eléctrica y dejan que el misil agotado se dispare. Si no es probable que las fuerzas de arrastre atmosférico sean lo suficientemente fuertes como para garantizar la separación, se colocan resortes de compresión mecánicos, hidráulicos o neumáticos entre las dos etapas para separarlos. Las etapas gastadas pueden requerir propulsores inversos o terminación de empuje para evitar la colisión de las etapas antes del encendido de la siguiente etapa. Cuando las etapas de misiles se unen con una interetapa de armadura, la etapa superior se encenderá antes de la separación de la etapa inferior. Una vez que los motores de la etapa superior estén funcionando, la interetapa se separará. La fuerza de los motores de la etapa superior ayuda a separar las etapas sin la necesidad de mecanismos de separación.

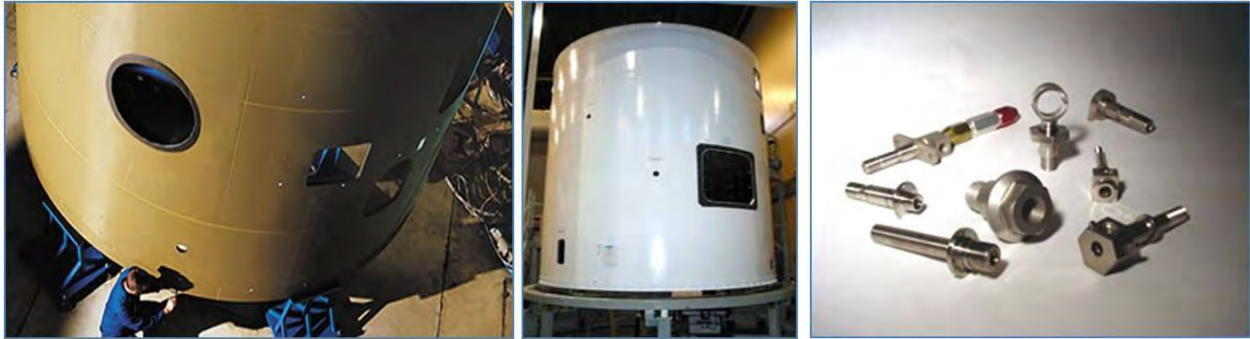


Imagen 37: Izquierda: Una gran sección compuesta de cuerpo central diseñada para un vehículo de lanzamiento espacial. (ATK) Centro: Una típica sección de cohetes interetapas. (ATK) Derecha: Una selección de pernos explosivos diseñados para su uso en vehículos de lanzamiento espacial y aplicaciones militares.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Todos los misiles de varias etapas requieren mecanismos de estadificación y separación. Los misiles de una etapa con ojivas de separación también requieren mecanismos de separación.

Las interetapas se utilizan para transportar cargas de empuje desde la etapa inferior a las etapas superiores de los misiles balísticos durante la combustión del motor del cohete. La mayoría de los diseños incorporan revestimientos de capa fina para reducir la resistencia al crear un carenado aerodinámico suave entre las etapas. También incorporan los mecanismos de separación utilizados para deshacerse de la etapa inferior gastada. Dejar caer una etapa inferior gastada mejora el alcance del misil (en comparación con el de un misil de una sola etapa), pero debe lograrse limpiamente y con la sincronización adecuada para evitar daños al misil o desviación de su trayectoria.

**Otros usos:** Los dispositivos preempaquetados, como los pernos explosivos, tienen otras aplicaciones militares, especialmente para lanzar armas o separar tanques de combustible externos de los aviones de combate. Los FLSC se usan habitualmente en la industria petrolera para cortar tuberías grandes. Los resortes de compresión se utilizan en el mundo industrial como amortiguadores y niveladores de carga.

**Apariencia (como se fabrica):** Los pernos explosivos parecen pernos de máquina grandes, pero con una sección de carcasa en el extremo de la cabeza. Por lo general, miden de 7 cm a 10 cm de longitud y de 1 cm a 2,5 cm de diámetro, y pesan de 50 g a 75 g (Imagen 37, derecha). La sección de la carcasa contiene la munición y tiene alambres o cables que salen de ella desde los detonadores internos, que generalmente requieren una fuente de alimentación de CC. Los mecanismos de etapas incorporados casi siempre usan FLSC, un tubo de metal blando de plomo o aluminio con forma de galón lleno de explosivos, habitualmente RDX o HMX. El FLSC está sujeto por clips metálicos al interior de la estructura de interetapa que mantiene juntas las dos etapas del misil y, cuando es iniciada por un pequeño detonador, corta la estructura y la piel para liberar las etapas. El tubo es de color gris metalizado y el explosivo es de color blanco a gris blanquecino. El ancho, la altura y el peso por unidad de longitud dependen del grosor del material para el que está diseñado.

Los cierres de bola no involucran explosivos y algunas veces se usan en sistemas de separación de carga útil. Internamente, utilizan un solenoide/resorte/rodamiento de bolas que permite la desconexión suave deseada; externamente, se parecen mucho a los pernos explosivos, es decir, como un perno de máquina con una carcasa y dos cables. Los resortes de compresión utilizados para la separación de etapas son dispositivos de carrera larga (10 cm a 20 cm), de diámetro pequeño (2 cm a 4 cm) montados en recipientes en varios lugares (mínimo de tres) en el borde del interetapas. Estos recipientes de acero alojan resortes de acero o pistones y tienen bridas incorporadas para su fijación al interetapas. Los pistones hidráulicos y neumáticos tienen depósitos de fluido incorporados para presurizar las unidades cuando se montan las etapas.

Un interetapas es una estructura cónica o cilíndrica, generalmente fabricada con material compuesto de grafito que tiene el mismo diámetro exterior que las etapas del cohete que conecta (Imagen 11). Tiene marcos de conexión en cada extremo y ubicaciones para dispositivos de separación en un extremo. Tiene soportes estructurales visibles dentro de las paredes estructurales y anillos finales o marcos utilizados para unirlos a las etapas de misiles. La longitud de una interetapa suele ser igual a aproximadamente la mitad del diámetro exterior de la tobera del motor en la siguiente etapa anterior. Como se describió anteriormente, un interetapas también puede ser un marco de celosía abierta sin piel.

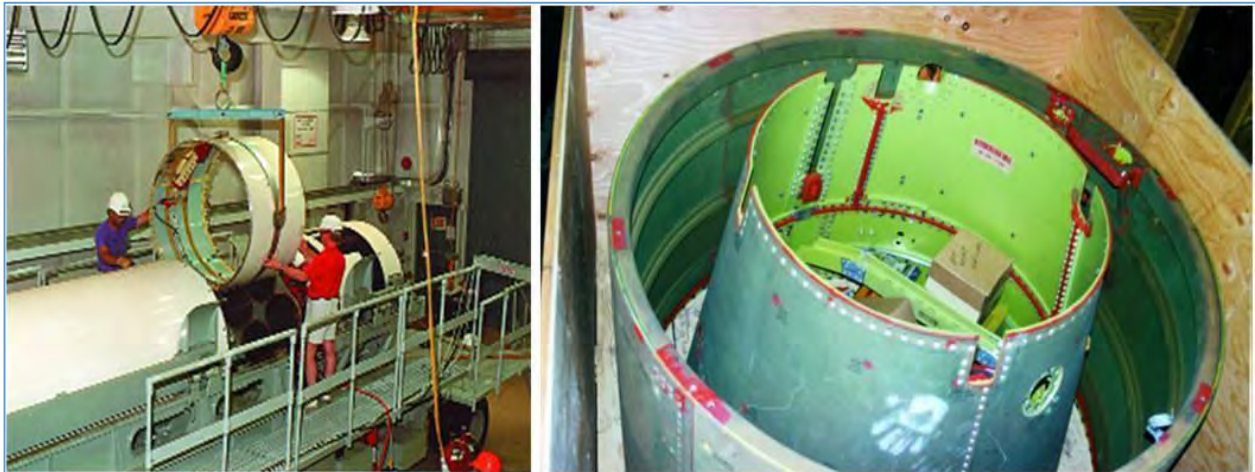


Imagen 38 Izquierda: Un interetapas se coloca para el archivo adjunto. (Manual del anexo de equipos, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005)) Derecha: Dos interetapas en su contenedor de envío. (Ibidem)

**Apariencia (como empaquetado):** Los pernos explosivos se envían en cajas de cartón simples con una amplia espuma interna u otro embalaje para mitigar los efectos de los golpes. Las cajas que se envían correctamente están marcadas con los símbolos "Peligro-Explosivo" o "Peligro-Artillería" y se envían bajo restricciones que rigen los materiales explosivos. Los FLSC generalmente se envían en diferentes longitudes en cajas de madera revestidas y protegidas. Deben estar marcados con las mismas etiquetas de "Peligro", ya que están sujetos a las mismas restricciones de envío que cualquier artillería. Los cierres de bola se pueden empaquetar y enviar sin restricciones de municiones y no tienen características distintivas o etiquetas en su embalaje. Los resortes de compresión se envían sin comprimir en cajas de cartón. Las interetapas generalmente se envían en contenedores de madera a medida desde la instalación de fabricación hasta el integrador de la etapa de misiles.

3.A.5. Sistemas de control de propulsores líquidos y semilíquidos y de gel (incluidos los oxidantes) y componentes diseñados especialmente para ellos, utilizables en los sistemas especificados en 1.A., diseñados o modificados para operar en entornos de vibración mayores de 10 g rms entre 20 Hz y 2 kHz.

**Notas:**

1. Las únicas servo-válvulas, bombas y turbinas de gas especificadas en 3.A.5. son las siguientes:
  - a. Servo-válvulas diseñadas para un flujo igual o superior a 24 litros por minuto, a una presión absoluta igual o superior a 7 MPa, que posean un tiempo de respuesta del actuador inferior a 100 ms.
  - b. Bombas, para propulsores líquidos, con una velocidad de rotación del eje igual o superior a 8 000 r.p.m. al modo de funcionamiento máximo o con presión de descarga igual o superior a 7 MPa.
  - c. Turbinas de gas para turbobombas de propulsante líquido, con una velocidad de rotación del eje igual o superior a 8 000 r.p.m. al modo de funcionamiento máximo.
2. Los sistemas y componentes especificados en 3.A.5. pueden exportarse como parte de un satélite.

- China
- Francia
- Alemania
- India
- Israel
- Italia
- Japón
- Corea del
- Federación Rusa
- EE. UU.
- Reino Unido

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los sistemas de control de propulsores manejan la presión y el volumen del propulsante líquido, semilíquido o de gel que fluye a través de la placa del inyector y hacia la cámara de combustión de un motor de cohete. Los tanques de alta presión o turbobombas fuerzan a los propulsores líquidos o semilíquidos de los tanques de combustible y oxidante a la cámara de combustión a alta presión. Los sistemas de tanques de alta presión incluyen los propios tanques, servoválvulas y líneas de alimentación para mantener el flujo de propulsante continuo y sin vacíos durante la alta aceleración del lanzamiento de misiles. Las turbobombas se usan para aumentar la presión del propulsante a los niveles requeridos para motores de alto empuje y alto caudal. Las servoválvulas se pueden usar para controlar la velocidad de la turbobomba y, por lo tanto, controlar el empuje.

**Método de operación:** Los sistemas de tanque de presión usan un tanque de alta presión, a menudo llamado "botella", que transporta un presurizante como nitrógeno o helio hasta 70 000 kPa. El presurizante se libera a los tanques de propulsante a través de un regulador que ajusta el nivel de presión. El presurizador empuja el combustible y el oxidante a través de las válvulas de control hacia el inyector en la cabeza de la cámara de combustión. El empuje se regula abriendo y cerrando las válvulas de control la cantidad adecuada.

Las servoválvulas funcionan para proporcionar una respuesta casi exacta con la ayuda del sistema de control de retroalimentación. Su uso es casi fundamental para el control de sistemas de alta potencia, como los sistemas avanzados de propulsión de cohetes líquidos. Son dispositivos electromecánicos complicados que controlan el flujo de propulsante a través de ellos mediante el equilibrio de fuerzas en ambos lados de un pistón actuador, que regula la posición del eje de la válvula. La señal de control generalmente mueve un pistón pequeño (amplificador hidráulico) que admite presión variable a un lado del pistón del actuador. Se mueve hasta que se establezca un nuevo equilibrio a un nuevo caudal. Las servoválvulas son generalmente las más costosas, sensibles y propensas a fallas de todas las válvulas porque sus orificios pueden obstruirse fácilmente por contaminantes.

Las turbobombas empujan los propulsores hacia la cámara de combustión a presiones hasta cincuenta veces mayores que la presión a la que normalmente se almacenan los propulsores. Las turbobombas se alimentan quemando parte del propulsante de cohete en un generador de gas. Sus gases de escape alimentan una turbina que acciona la bomba. Las turbobombas para misiles generalmente rotan a una velocidad de 8000 RPM a 75 000 RPM. El empuje del motor se regula alterando el flujo de propulsante al generador de gas (a veces con una servoválvula) y, por lo tanto, cambiando la velocidad de la turbina de la turbobomba y, por lo tanto, el flujo de propulsante hacia la cámara de combustión.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Todos los motores de cohete de propulsante líquido utilizan un sistema de suministro de propulsante alimentado a presión o alimentado por bomba. Los sistemas de alimentación por presión pueden diseñarse específicamente para un motor en particular o ensamblarse a partir de componentes de doble uso. Las turbobombas generalmente están diseñadas específicamente para un motor en particular.

**Otros usos:** Las servoválvulas son comunes en los sistemas de control de circuito cerrado que manejan líquidos. Numerosas aplicaciones civiles incluyen control de combustible y sistema hidráulico en aeronaves tripuladas. Otras aplicaciones implican la manipulación precisa de fluidos, como en la industria química. Las bombas de perforación de turbina son populares en las industrias de petróleo y pozos profundos.

**Apariencia (como se fabrica):** Las servoválvulas se parecen mucho a las válvulas de cierre o cilindros de línea con trozos de tubo para entradas y salidas de propulsores en una carcasa de metal. La mayoría de las válvulas y carcasas están hechas de acero inoxidable. Sin embargo, estas válvulas son más grandes que las válvulas de cierre porque tienen un dispositivo de retroalimentación de posición. En la Imagen 39 (izquierda) se muestra una válvula de control de propulsante líquido moderna, y en la Imagen 39 (centro) se muestra una placa de inyector de propulsante líquido.



Imagen 39: *Izquierda:* Una moderna válvula de control de propulsante líquido. *Centro (Aeroespacial de señal aliada):* Una placa de inyector de propulsante líquido. (Boeing) *Derecha:* Un conjunto de turbobomba para un vehículo de lanzamiento espacial. (Hamilton Sundstrand)

Las turbopiezas generalmente se alojan en carcasas metálicas y están dimensionadas para aplicaciones específicas. Aunque se parecen a los turbocompresores automotrices o de camiones, son mucho más grandes y pueden pesar varios cientos de kilogramos. Las turbinas para motores de cohete de propulsante líquido pueden tener una bomba y un conjunto de turbina separados para cada propulsante (por ejemplo, para el combustible y el oxidante), o una sola unidad que combine ambas bombas y el mecanismo de accionamiento de la turbina. Un conjunto de turbobomba para un vehículo de lanzamiento espacial se muestra en la Imagen 39 (derecha). Las nervaduras de las carcasas son típicas de las turbobombas porque proporcionan buena resistencia y peso ligero; sin embargo, algunas turbobombas tienen carcasas metálicas lisas.

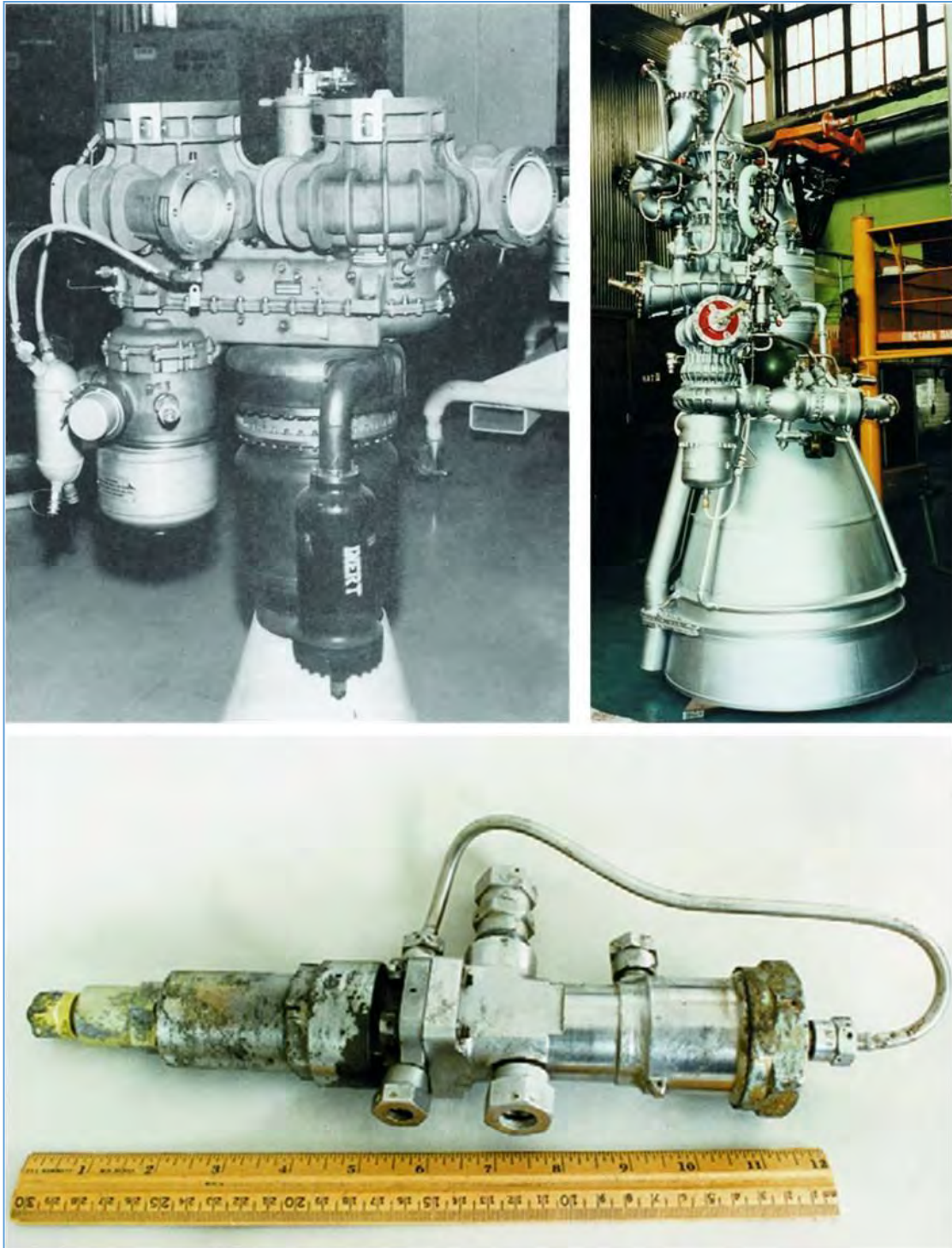


Imagen 40: *Arriba a la izquierda:* Un conjunto de turbobomba de varios ejes. (Aerojet) *Arriba a la derecha:* Una turbobomba de un solo eje. (Aerojet) *Parte inferior:* Una servoválvula de un misil Scud. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

**Apariencia (como empaquetado):** Las servoválvulas se empaquetan como otras válvulas, especialmente las válvulas de cierre. Las entradas y salidas están tapadas para evitar la contaminación. Las válvulas se colocan en bolsas de plástico selladas al vacío o bolsas de plástico selladas llenas de nitrógeno o argón para mantener las válvulas limpias y secas. A veces pueden ser de doble bolsa y generalmente se envían dentro de un contenedor, a menudo una carcasa de aluminio con un forro de espuma contorneado. Las turbobombas pequeñas a menudo se empaquetan y envían en contenedores de aluminio. Dependiendo del tamaño y de las características de la interfaz, un gran turbohélice puede empaquetarse y enviarse en un cajón de envío personalizado, con soportes de bomba incorporados. Los turbohélices también pueden enviarse como un kit de descomposición en el que los componentes separados se empaquetan para ensamblar después del recibo.

3.A.6. Componentes especialmente diseñados para motores de cohetes híbridos especificados 2.A.1.c.1 o 20.A.1.b.1.

**Naturaleza y propósito:** Los motores de cohetes híbridos usan propulsores sólidos y líquidos, generalmente un combustible sólido y un oxidante líquido. Debido a que el flujo del oxidante líquido se puede controlar, los motores híbridos se pueden acelerar o apagar por completo y luego reiniciar. Los motores de cohetes de propulsante híbrido combinan algo de la simplicidad de los motores de cohetes de propulsante sólido con la capacidad de control de los motores de cohetes de propulsante líquido.



Imagen 41: Un motor de cohete híbrido. (NASA)

**Método de operación:** Los motores de cohetes híbridos usan tanques a presión o bombas para alimentar el oxidante a la cámara de combustión forrada con combustible sólido. Las bombas son accionadas por un generador de gas alimentado por su propio grano de combustible o alguna otra fuente de combustible. El oxidante líquido quema el combustible sólido dentro de la cámara hueca, y los gases calientes y en expansión se expulsan a través de la tobera a velocidad supersónica para proporcionar empuje. Como en un motor de cohete de propulsante sólido, la carcasa exterior de la cámara de combustión está protegida contra gran parte del calor de la combustión por el combustible mismo porque se quema desde adentro hacia afuera.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los motores de cohetes híbridos se pueden utilizar para impulsar vehículos de lanzamiento espacial, cohetes con sonido y misiles balísticos.

**Otros usos:** N/C

**Apariencia (como se fabrica):** Un motor cohete híbrido tiene un inyector de oxidante montado en la parte superior de la carcasa del motor de alta presión y una tobera convergente/divergente en la parte inferior. El inyector tiene válvulas y tuberías de un tanque de presión o de un tanque y una bomba asociada. La cámara de combustión generalmente se fabrica de acero o titanio, que puede

- Japón
- Federación Rusa
- República de Corea
- Estados Unidos

Producción global





ser negro o gris, o de grafito bobinado con filamento o epoxi de vidrio, que generalmente es amarillo o marrón. La cámara está forrada con un propulsante sólido y grueso que tiene una variedad de configuraciones y se parece a un solo cilindro con un centro hueco, cilindros concéntricos o ruedas de carreta. Las toberas están hechas de material ablativo, que a menudo es marrón o metales de alta temperatura, y pueden tener insertos de alta temperatura en sus orificios (Imagen 41).

**Apariencia (como empaquetado):** Los motores de cohetes híbridos pueden enviarse completamente ensamblados o parcialmente ensamblados, con tanques y equipo informático asociado empaquetados por separado de la cámara de combustión y las toberas adjuntas. Las unidades completamente ensambladas se empaquetan en cajones de madera. Los componentes se empaquetan en cajones de madera o cartones pesados. Los cajones legalmente marcados están etiquetados con explosivos o advertencias de peligro de incendio porque los misiles se alimentan con propulsante sólido. Sin embargo, debido a que los motores contienen solo combustible y ningún oxidante, son menos peligrosos que los motores de cohete propulsante sólido normales.

3.A.7. Rodamientos radiales distintos de los especificados en el artículo 2A001, con todas las tolerancias especificadas de acuerdo con la clase de tolerancia 2 de la norma ISO 492 (o ANSI/ABMA Sdt 20, clase de tolerancia ABEC-9 u otras normas nacionales equivalentes) o mayor, y que se ajusten a todas las características siguientes:

- a. Diámetro del anillo interior de 12 mm a 50 mm;
- b. Diámetro del anillo exterior de 25 mm a 100 mm; y
- c. Anchura de 10 mm a 20 mm.

**Naturaleza y propósito:** Los rodamientos radiales producidos con altas especificaciones tienen importantes aplicaciones aeroespaciales, más significativamente en las turbobombas de cohetes utilizadas en cohetes y también en todo tipo de motores de turbina de gas que accionan vehículos aéreos.

**Método de operación:** Los rodamientos radiales (a veces denominados rodamientos de ranura profunda o de contacto angular) son comunes en todo tipo de maquinaria. Los rodamientos de elementos rodantes de este tipo permiten que las partes móviles de la maquinaria funcionen suavemente con una fricción mínima. Las pistas son las carcasas circulares de metal, que forman un anillo interior y un anillo exterior, y que contienen las bolas. Una de las pistas generalmente se lleva a cabo en una posición fija dentro de una máquina, mientras que la otra soporta un eje giratorio. Las bolas contenidas entre las pistas pueden girar libremente, junto con la pista que soporta el eje móvil. Los rodamientos radiales soportan cargas radiales, de empuje, de momento, de empuje reversible o combinadas.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los rodamientos radiales tienen una amplia gama de aplicaciones en sistemas relacionados con misiles, que incluyen lo siguiente: turbobombas de motores de cohetes propulsante líquido, todos los ejes principales y motores auxiliares de motores turboreactores, turboventiladores y turbohélices, y cajas de engranajes de reducción de turbohélices.



Imagen 42: Rodamientos radiales fabricados con la clase de tolerancia ISO 492 requerida por 3.A.7. (GMN)

- Argentina
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Malasia
- Polonia
- Federación Rusa
- Suecia
- Reino Unido
- Brasil
- China
- Alemania
- Indonesia
- Japón
- México
- Rumanía
- Singapur
- Tailandia
- Estados Unidos

Producción global



**Otros usos:** Los rodamientos radiales de alta especificación tienen una amplia gama de aplicaciones en maquinaria para fines industriales, de transporte, agrícolas, de fabricación, médicos y otros.

**Apariencia (como se fabrica):** Construcción de doble anillo metálico, de color plateado, con un acabado liso, a veces pulido. Las bolas son generalmente visibles entre las pistas de alojamiento, y las pistas rotarán libremente (Imagen 42).

**Apariencia (como empaquetado):** Los rodamientos radiales se empaquetan típicamente en pequeñas cajas de cartón con la marca del fabricante.

3.A.8. Tanques de propulsante líquido o de gel, distintos a los indicados en el artículo 9A006, diseñados especialmente para propulsores especificados en el artículo 1.A.1.

- China
- India
- Francia
- Alemania
- Japón
- Estados Unidos
- Federación Rusa

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Los motores de cohete de propulsante líquido consumen el oxidante y el combustible con bastante rapidez, por lo que es necesario presurizar los tanques de líquido que transportan los propulsores en vuelo, para alimentar altos flujos de líquido a los motores. La gran mayoría de la masa de una etapa de cohete es propulsante, porque el rendimiento del cohete (rango y carga útil) depende de lograr una alta relación de masa propulsante a masa no propulsante. Por lo tanto, un tanque de propulsante líquido está especializado para ser muy liviano en relación con el volumen contenido. Para soportar presiones internas con alta eficiencia estructural, las formas de los tanques de cohetes son cilindros con extremos abovedados, a veces esferas u ocasionalmente cónicas y variaciones de estas formas.

En un escenario de cohete líquido para misiles balísticos o vehículos de lanzamiento espacial, se utilizan tanques separados para transportar el oxidante y combustible, que no debe entrar en contacto antes de que alcancen la (s) cámara (s) de combustión del motor. Las etapas de cohetes más grandes usan oxígeno líquido para quemar queroseno o combustible de hidrógeno líquido. Tales etapas con estos propulsores se usan habitualmente para vehículos de lanzamiento espacial, y potencialmente para misiles balísticos. Sin embargo, el oxígeno y el hidrógeno son muy fríos como líquidos, por lo que se producen pérdidas por evaporación incluso con aislamiento, y la escarcha se acumula en el exterior de los tanques.

Los misiles balísticos tienen más probabilidades de usar propulsores controlados por el Artículo 4.C. en el Anexo del MTCR, que puede cargarse con mucha anticipación y almacenarse dentro del misil para la preparación del lanzamiento continuo. Los ejemplos incluyen ácido nítrico y tetróxido de nitrógeno, y combustibles de queroseno o hidrazina.

La Imagen 43 muestra dos ejemplos de tanques de propulsores muy diferentes, ambos controlados por el Artículo 3.A.8. A la izquierda hay un tanque de propulsante individual de aproximadamente un metro de tamaño, apropiado para una etapa superior o una nave espacial. El lado derecho de la Imagen 43 es un diagrama de un par de tanques integrados para un vehículo de lanzamiento espacial. El oxidante de 8,4 metros de diámetro y los tanques de combustible están unidos por una estructura entre tanques (tenga en cuenta las ondulaciones para la rigidez en ausencia de presión interna). Si bien el extremo frontal de este tanque oxidante en particular está configurado para el vuelo aerodinámico, los tanques de misiles generalmente tendrían otra etapa o una carga útil por encima del tanque delantero (superior).



Imagen 43 Izquierda: Un tanque de propulsante líquido típico desarrollado para una gama de aplicaciones espaciales. (EADS) Derecha: Un diagrama del tanque externo utilizado por un motor de lanzamiento de un vehículo espacial, que muestra el oxidante separado y los tanques de combustible. (NASA)

Si bien los cohetes de propulsores sólidos se almacenan y transportan con mayor facilidad en cualquier orientación, esencialmente siempre listos para lanzarse, los tanques de propulsores líquidos y los sistemas de cohetes de los que son componentes centrales ofrecen algunas ventajas sobre los sistemas de propulsores sólidos. Los propulsores líquidos producen velocidades de escape de cohetes más altas, lo que reduce la masa del vehículo o aumenta el alcance y el potencial de carga útil. Los combustibles líquidos también se pueden estrangular, apagar y volver a encender según lo requieran los objetivos de una misión, proporcionando una capacidad mucho mayor para manipular y controlar el rendimiento general del sistema de cohetes. Los subcomponentes necesarios para alcanzar este nivel de control también hacen que los tanques y motores de propulsante líquido sean extremadamente complejos.

**Método de operación:** Para ser livianos, los tanques grandes para las etapas principales del cohete tienden a operar a presiones muy bajas, por debajo de 0,35 MPa (50 psi). Este nivel de presión es suficiente para alimentar el tipo de motores de cohete que usan bombas para aumentar la presión, típicamente por encima de 7 MPa (1000 psi) para que las cámaras de combustión y las toberas puedan ser relativamente compactas. Por el contrario, los tanques pequeños para las etapas superiores y las naves espaciales suelen tener una capacidad de 2 a 4 MPa (300 a 600 psi) para alimentar directamente las cámaras de combustión de cohetes sin bombas.

Este último modo de operación "alimentado a presión" también compromete presiones medias para tanques y motores. Un caso especial son los propulsores de gel que tienen una alta viscosidad, por lo que se necesitan altas presiones para expulsar los materiales del tanque. Si bien los tanques de propulsante líquido deben soportar la presión interna, en la ingeniería de cohetes generalmente no se los denomina "recipientes a presión", un término generalmente reservado para contenedores que almacenan gases a presiones mucho más altas.

A medida que los propulsores líquidos son expulsados de los tanques en vuelo, la presión se mantiene llenando el volumen expandido de la ampolla con gases no reactivos denominados "presurizantes". Por ejemplo, el oxígeno líquido puede ser desplazado por el vapor de oxígeno o por el helio que tiene menos masa. Una consideración operativa importante es que el propulsante líquido debe llegar a la tubería de salida en condiciones de aceleración variable y efectos de gravedad. El líquido se deposita en el fondo de los tanques de la etapa principal en vuelo, pero los tanques pueden necesitar paneles internos para reducir la salpicadura de líquido. Para las etapas superiores o para maniobrar vehículos de reentrada, los tanques pueden necesitar entregar líquido en condiciones más amplias de aceleración, incluida la caída libre (microgravedad). Dichos tanques usan "dispositivos de gestión de propulsores" (PMD) para que el líquido, no el gas presurizante, llegue a los motores a través del puerto de salida de líquido del tanque. Los PMD incluyen dispositivos de tensión superficial y vejigas flexibles o diafragmas para separar positivamente las fases líquida y gaseosa.

Los oxidantes líquidos combinados y los combustibles se conocen como bipropelentes. Algunos sistemas de cohetes más pequeños usan un solo tanque de propulsante, o monopropelente, como la hidrazina. En lugar de la combustión, los monopropelentes liberan energía química al descomponerse, generalmente iniciada por un catalizador en el motor. La hidrazina se descompone en gases de hidrógeno, nitrógeno y amoníaco, para los cuales el catalizador es cerámica de alúmina granular con un recubrimiento de metal de iridio. Otro ejemplo es el peróxido de hidrógeno, que se descompone en oxígeno y agua (como vapor). Los monopropelentes ofrecen simplicidad al sistema de propulsión, pero son menos eficientes que los bipropelentes.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los tanques especialmente diseñados son el principal componente estructural de cada cohete propulsante líquido. La mayor parte de la masa de cada etapa de misil es propulsante, por lo que la mayor parte de la longitud del cohete son los tanques, generalmente dos por etapa unidos por una estructura entre tanques. En comparación, los motores de cohete de propulsante líquido suelen ocupar una pequeña fracción de la longitud de la etapa, al menos para la primera y la segunda etapa. Las etapas superiores de los misiles balísticos son más pequeñas en general, por lo que sus tanques son relativamente más cortos en relación con el diámetro del misil, potencialmente esféricos. Los vehículos de lanzamiento espacial más grandes usan propulsores líquidos para sus etapas principales, por lo que los tanques de propulsores líquidos especializados son esenciales. Los tanques de propulsante líquido se pueden utilizar maniobrando vehículos de reentrada, en cuyo caso los tanques pequeños pueden ser internos, configurados de manera diferente a la etapa principal.

**Otros usos:** Los pequeños tanques de combustible líquido se utilizan en muchos satélites, naves espaciales científicas y vehículos de exploración espacial.

**Apariencia (como se fabrica):** Los tanques propulsores para las grandes etapas principales de los cohetes son cilindros largos, típicamente de uno a varios metros de diámetro, con paredes de metal de solo unos pocos o varios milímetros de espesor. Su longitud puede ser de uno o dos a aproximadamente diez veces el diámetro, dependiendo de su uso para una etapa inferior (larga) o superior (corta). Tales tanques grandes a menudo están hechos de aleaciones de aluminio y, a veces, de acero. Las paredes de los tanques de vuelo son lo suficientemente delgadas como para golpearlas con las manos o los nudillos que tienden a producir un sonido hueco o un zumbido grave. A menudo, el metal delgado está desnudo, pero podría pintarse. Una capa de aislamiento sobre metal delgado cambiaría el efecto acústico.

Los tanques propulsores para las etapas superiores de los cohetes, los vehículos de maniobra y los satélites pueden variar de 0,1 metros a más de 1 metro de diámetro. Generalmente, los tanques de este tamaño operan a presiones más altas que los tanques de grandes etapas de cohetes. Los tanques pequeños a menudo están hechos de aleaciones de titanio, porque las presiones más altas dictan materiales de alto rendimiento y el tamaño pequeño hace que el titanio sea relativamente asequible. Además, los tanques pequeños tienden a tener longitudes que no superan su diámetro, incluidas formas esféricas que maximizan el volumen por masa.

Algunos tanques utilizados para la propulsión de cohetes tienen una construcción compuesta, habitualmente con fibra de carbono en resina epoxi. Su aspecto es negro brillante o gris oscuro. La mayoría de los tanques que tienen este aspecto no son tanques de propulsores líquidos, sino que son recipientes a presión para gases como helio o nitrógeno. Algunas aplicaciones especializadas utilizan construcción compuesta para tanques de propulsor líquido. Los recipientes a presión compuestos para gases generalmente están clasificados para presiones muy superiores a 10 MPa (1450 psi) y sus paredes son relativamente gruesas, envueltas con muchas capas de fibra de carbono. Los tanques compuestos para líquidos generalmente están clasificados para presiones muy inferiores a 10 MPa. Los tanques de líquidos son livianos (vea los números a continuación), mientras que los recipientes a presión para gas son mucho más pesados.

**Apariencia (como empaquetado):** Los tanques de vuelo son efectivamente frágiles, por lo que generalmente deben tratarse con mucho cuidado durante y después de la fabricación. Los tanques de propulsor son componentes críticos caros de todos los cohetes y, como tales, se envían en contenedores especialmente diseñados, a menudo con amortiguadores y puntales internos que evitan el movimiento en el camino. Los tanques grandes se transportan en vehículos especiales, por ejemplo, semirremolques personalizados con poco o ningún embalaje adicional. Los tanques de vuelo para propulsores líquidos son muy livianos en relación con su volumen (5 a 50 kg por metro cúbico), por lo que el peso de envío generalmente está dominado por los contenedores y/o accesorios.

3.A.9. 'Sistemas de motor turbohélice' diseñados especialmente para los sistemas en 1.A.2. o 19.A.2., y componentes diseñados especialmente para ellos, con una 'potencia máxima' superior a 10 kW (conseguidos sin instalar en condiciones estáticas al nivel del mar utilizando la atmósfera estándar de la OACI), excluyendo los motores con certificación civil.

**Nota técnica:**

*A los efectos del artículo 3.A.9., el 'sistema de motor turbohélice' incorporará todo lo siguiente:*

- a. Un motor turboeje, y*
- b. Sistema de transmisión de potencia para transferir la potencia a una hélice.*

**Naturaleza y propósito:** Los sistemas de motores de turbohélice son plantas de energía de turbina de gas que respiran aire que funcionan con combustible de turbina de aviación (AVTUR) y conducen una hélice de hélice de aire mediante una caja de engranajes de reducción.

**Método de operación:** Los motores de turbohélice funcionan según el mismo principio que el turborreactor, tomando aire de una entrada y aumentando su presión con un compresor, mezclando el aire comprimido con combustible en una cámara de combustión y quemándolo. Los gases en expansión viajan a través de una turbina que acciona el compresor. Como la turbina y el compresor están conectados por un eje que atraviesa el centro del motor, el proceso es continuo.

- Canadá
- República Checa
- Federación Rusa
- Ucrania
- Estados Unidos

Global  
Producción



En un turbohélice, la turbina también está conectada a la hélice mediante una caja de engranajes. En comparación con un motor turborreactor, que depende de la alta energía cinética de los gases expulsados en un chorro a través de la tobera en la parte trasera, la turbina del turbopropulsante captura más de la energía de expansión generada por la combustión para impulsar la hélice. Para hacer esto, la turbina diseñada para un motor de turbohélice tiene etapas adicionales en comparación con un turborreactor, y el turbohélice produce solo un bajo empuje residual del chorro. Un motor de turbohélice puede ser de dos ejes, y en este caso la hélice es impulsada por la turbina de baja presión.

En términos simples, un turbohélice mueve una gran masa de aire frío lentamente fuera del motor a través de una hélice de movimiento relativamente lento, en comparación con un turborreactor donde una carga más pequeña de gas caliente pasa rápida y ruidosamente a través del motor. El turbohélice es la más adecuado para vehículos aéreos que viajan a velocidades de hasta 400 mph (645 km/h, 378 nudos). Hasta esta velocidad, el turbohélice es notablemente eficiente en combustible y es muy adecuado para vuelos de largo alcance o alta resistencia. Tiene claras ventajas de rendimiento sobre los motores de gasolina alternativos cuando opera en este régimen y es probable que sea más confiable y tenga una vida útil más larga que un motor de pistón.

Todos los motores de turbohélice requieren una caja de cambios de reducción de velocidad de alta relación para reducir la velocidad de la turbina a una velocidad viable para la hélice, y esta caja de cambios está integrada con el motor. La hélice es una unidad separada, generalmente un diseño avanzado de tipo de paso variable de velocidad constante, que se basa en un mecanismo autónomo para cambiar el paso de las paletas a medida que se aplica potencia y también para controlar la velocidad de rotación de la hélice. El sistema completo de motor de turbohélice con su hélice y caja de cambios es, por consiguiente, más costoso de fabricar que un turborreactor y se considera mucho menos adecuado para aplicaciones prescindibles.

El uso de turbohélices para propulsar vehículos aéreos a velocidades aéreas más cercanas a la velocidad del sonido presenta problemas porque las hélices pierden eficiencia a altas velocidades debido a un efecto conocido como arrastre de onda. Una mayor potencia del motor requiere un mayor número de paletas de la hélice o aumentar el diámetro de la hélice, pero las velocidades de la punta de la hélice deben mantenerse en el rango subsónico. El peso y la complicación aumentan si se utilizan hélices contrarrotativas coaxiales (PCR). El turborreactor y el turboventilador son más adecuados para la propulsión más cercana a la velocidad del sonido. En teoría, un diseño de motor de turbohélice conocido como rotor abierto o turbopropulsores, que utiliza paletas de hélice altamente aerodinámicas, ofrece la posibilidad de velocidades más altas más cercanas a las logradas con los jets, pero esta tecnología de motor aún está en desarrollo.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los motores de turbohélice se pueden utilizar para impulsar vehículos aéreos no tripulados, especialmente aquellos necesarios para operar a larga distancia o en misiones de larga duración. Los motores de turbohélice no tienen las características para impulsar misiles balísticos o misiles de crucero de alta velocidad, pero pueden proporcionar un vehículo aéreo con una combinación de cualidades que incluyen velocidad razonable, silencio relativo y buenas características de transporte de carga, combinado con eficiencia de combustible para largo alcance o vuelo de larga duración. El potencial claramente existe para el desarrollo de un UAV tipo de bomba voladora de turbohélice que opera a velocidades moderadas en rangos extremadamente largos.

**Otros usos:** Los motores turbohélice impulsan una amplia variedad de aviones militares y civiles ligeros y medianos y algunos aerodeslizadores. Los motores de turbina de gas estrechamente relacionados con los motores de turbohélice de aviones se utilizan ampliamente en bombas y grupos electrógenos.

**Apariencia (como se fabrica):** Los motores de turbohélice (Imagen 44) son unidades cilíndricas caracterizadas por una carcasa externa que puede variar en diámetro a lo largo de su longitud. Los motores de turbohélice rara vez se ajustan al diseño clásico de un motor a reacción, donde el ventilador del compresor es visible en la parte delantera y la tubería abierta se ve en la parte trasera. En cambio, el motor de turbohélice generalmente se asemeja a un tubo cerrado en ambos extremos. Una entrada es generalmente visible, aunque no siempre en la parte delantera del motor. La carcasa puede transportar tuberías de combustible, termopares y varias cajas de accesorios. Con su hélice desmontada, un motor turbohélice es más difícil de identificar. El cubo de montaje de la hélice es un disco de diámetro pequeño en el extremo del motor con varios agujeros perforados alrededor de la circunferencia y clavijas de montaje.



Imagen 44: *Izquierda:* Un motor de turbohélice utilizado para alimentar UAV controlados bajo 19.A.2 del MTCR. (Pratt & Whitney Canadá) *Centro:* Un motor de turbohélice utilizado para alimentar un UAV, controlado por 1.A.2 del MTCR. (Honeywell) *Derecha:* Un motor de turboeje diseñado para su uso en una amplia gama de aplicaciones UAV. (Rolls Royce, plc)

Los motores de turbina de gas son extremadamente compactos y tienen una alta relación potencia/peso. Un motor de turbohélice capaz de producir 900 kW puede medir un poco menos de 2 m de longitud y 0,5 m de diámetro y puede confundirse con un calentador o una bomba industrial cuando se ve fuera de un contexto aeroespacial. Los motores de turbohélice grandes pueden medir hasta 3,5 m y pesar más de 1 tonelada. Con su hélice conectada, un motor de turbohélice es difícil de confundir con cualquier otra cosa.

**Apariencia (como empaquetado):** Un motor de turbohélice normalmente debe montarse horizontalmente en un soporte de tránsito o soporte de servicio que comprende una base (a veces con ruedas) y una cuna que sostiene el motor a una altura conveniente para el manejo, y con la posibilidad de levantarlo con una carretilla elevadora. El soporte puede estar equipado con dispositivos de amortiguación para el transporte. La (s) entrada (s) de aire están cubiertas con placas ciegas para protección y el motor completo puede estar completamente cubierto por una cubierta de plástico hecha a propósito cerrada por cierres y hebillas. A veces se aplica una cubierta separada a la hélice cuando está instalada. De lo contrario, el motor y la hélice pueden estar cubiertos con una lámina de plástico. Los motores de turbohélice se pueden transportar en cajones de madera o en recipientes de fibra de vidrio o metal especialmente diseñados.

Cuando se separan del motor, las hélices generalmente se transportan o almacenan verticalmente en un soporte triangular, apoyado en el cubo. En la mayoría de las circunstancias, es probable que un motor de turbohélice empaquetado esté acompañado de documentos que proporcionen su historial y estado de mantenimiento.

### 3.A.10. Cámaras de combustión y toberas para motores para cohetes de propulsante líquido o de gel utilizables en los subsistemas especificados en 2.A.1.c.2. o 20.A.1.b.2.

**Naturaleza y propósito:** Para los propulsores líquidos y de gel, las cámaras de combustión del motor de cohete tienen la función de contener la mezcla, hacer reaccionar los propulsores y sus productos de combustión a altas presiones. Las sustancias que reaccionan deben permanecer en la cámara durante un tiempo suficiente para que pueda producirse una combustión esencialmente completa antes de que los gases de alta temperatura resultantes alcancen el orificio de la tobera en su camino hacia la salida del motor.

Una tobera de cohete consiste en una sección convergente en el extremo descendiente de la cámara de combustión, seguida del orificio estrecho. Después de que el orificio sea una sección divergente, generalmente una estructura de concha en forma de campana o cónica que controla la expansión de los gases. Los gases que fluyen son exprimidos por la sección convergente, luego escapan a través de la garganta a la velocidad del sonido. En la sección divergente, los gases aceleran rápidamente a varias veces la velocidad del sonido.

La cámara de combustión y la tobera a menudo se fabrican como elementos de una sola pieza o, al menos, generalmente se unen permanentemente, de manera inseparable. Por lo tanto, el término "cámara de empuje" se usa a menudo para referirse al componente resultante que incluye ambos. En el extremo opuesto al orificio y la tobera, una cámara de combustión está unida a su inyector, un componente complicado que tiene pasajes de fluido para los propulsores individuales (véase el punto 3.A.5 del Anexo del MTCR). Antes de mezclar y quemar, el oxidante y el combustible ingresan a la cámara de combustión por separado a través del inyector, que generalmente también funciona como la pared aguas arriba de la cámara de combustión.

**Método de operación:** La forma de una tobera de cohete es fundamental para su funcionamiento. En ausencia de la sección divergente en forma de campana o cónica, los gases de escape se expandirían en todas las direcciones en lugar de ir en la dirección deseada. Si la sección cónica fuera un tubo largo, la misma expansión incontrolada ocurriría al final del tubo. En cambio, la forma óptima de la tobera permite que los gases se expandan gradualmente mientras se mantiene la gran mayoría del flujo alineado a lo largo del eje, a fin de producir un empuje eficiente mediante la conservación del momento.

Un aspecto operativo clave de las cámaras de combustión y las toberas es la necesidad de soportar altas temperaturas y altos esfuerzos mecánicos simultáneamente. Teniendo en cuenta que las resistencias del material se reducen a altas temperaturas, las paredes de la cámara de empuje (incluidas las toberas) generalmente están diseñadas para funcionar a temperaturas más bajas que los gases que reaccionan. Una cámara de empuje de cohete grande típicamente tiene pasajes de enfriamiento integrados en la pared, a través de los cuales fluye el combustible líquido para mantener la tobera mucho más fría que la llama misma.

El combustible se inyecta en la pared usando un colector donde la tobera tiene un gran diámetro. El término "enfriamiento regenerativo" se aplica porque la energía térmica que llega a la pared de la tobera no se desperdicia.



Esta energía calienta el combustible y se transporta nuevamente a la cámara de combustión, mejorando el rendimiento del cohete en comparación con arrojar el calor. Para algunos diseños de motores, el combustible se vaporiza mientras fluye dentro de la pared, luego el vapor puede usarse para alimentar una turbina antes de ser inyectado en la cámara de combustión.

Es más difícil implementar pasajes de flujo en paredes más pequeñas y delgadas, por lo que las cámaras de empuje pequeñas han utilizado otros métodos para enfriar durante la operación. Un método es configurar los flujos del inyector para proporcionar una capa delgada de combustible no quemado que fluye a lo largo de la pared, dentro de la cámara. En comparación con los motores grandes, es relativamente asequible que los motores pequeños estén hechos de metales refractarios caros, y en ocasiones se han utilizado materiales más exóticos a altas temperaturas. El enfriamiento por radiación se refiere a simplemente dejar que la pared brille al rojo vivo o incluso al rojo vivo, que emite calor como energía infrarroja y algo de luz visible. Las cámaras de empuje que carecen de canales de refrigeración generalmente funcionan a presiones de combustión mucho más bajas que los motores principales, lo que ayuda a reducir el calentamiento de la pared.

El funcionamiento de las cámaras de combustión y las toberas es esencialmente el mismo para los propulsores líquidos y los propulsores de gel. Los geles son efectivamente líquidos de alta viscosidad, por lo que la principal diferencia operativa es que se necesitan presiones más altas para empujar los geles a través de pequeños pasillos. Por lo tanto, los propulsores de gel pueden ser menos prácticos cuando se usan conductos de refrigeración.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Las grandes cámaras y toberas de combustión son piezas importantes de los motores principales de las etapas de misiles balísticos de propulsión líquida. Grandes cámaras de empuje de cohetes se encuentran de manera similar en los motores principales de los vehículos de lanzamiento espacial de propulsión líquida. Sus contrapartes más pequeñas pueden usarse en etapas superiores y maniobrar vehículos de reingreso. Los pequeños cohetes líquidos también se utilizan para controlar la actitud y dirigir las etapas principales de los misiles balísticos, incluidos algunos misiles que usan propulsores sólidos para el empuje primario. Los cohetes líquidos son versátiles para estas funciones de control porque las válvulas se pueden usar para variar el empuje o para encender y apagar los motores.

**Otros usos:** Los satélites y las naves espaciales utilizan una amplia variedad de pequeños motores de cohetes de propulsante líquido para maniobras y control de actitud, incluido el mantenimiento de la órbita y las transferencias interplanetarias.



Imagen 45: Arriba a la izquierda: Un motor de cohete de propulsante líquido con una tobera grande, refrigerada por regeneración. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005)) Abajo a la derecha: Vista lateral de una tobera de cohete líquida enfriada regenerativamente, unida a su combustión

**Apariencia (como se fabrica):** La Imagen 45 muestra una gran cámara de empuje por sí misma, y también un motor de cohete de propulsante líquido completo que incorpora dicha cámara de empuje. Para ambos, el tamaño total está dominado por la sección divergente de la tobera, típica pero no necesariamente así. En ambas imágenes, se puede ver que la pared está hecha de muchos tubos pequeños (para flujo de refrigeración) que corren desde la salida de la tobera hacia el orificio, sostenidos por anillos estructurales alrededor del exterior. Alternativamente, las cámaras de empuje de misiles pueden tener canales de refrigeración internos entre capas, en cuyo caso las superficies visibles parecen más lisas. Independientemente de la construcción de la pared de la cámara, es probable que los conductos de flujo (conductos, tubos o tuberías) que alimentan el propulsante a la pared sean evidentes. Para las etapas principales de los misiles balísticos y los vehículos de lanzamiento espacial, las cámaras de empuje de cohetes de propulsante líquido han variado históricamente en tamaño de aproximadamente uno a seis metros de largo, y de 0,3 ma 4 m de diámetro en el extremo grande de la tobera. El empuje correspondiente sobre este amplio rango de tamaños es de aproximadamente 5 toneladas a más de 500 toneladas.

Para las cámaras de empuje pequeñas que carecen de canales de refrigeración en la pared, un tipo común de motor de cohete de propulsante líquido produce aproximadamente 500 Newtons de empuje (0,05 toneladas o 110 libras). Muchos satélites tienen uno de estos "motores de apogeo", mientras que pocos motores más grandes que este se han utilizado como parte de un satélite. La longitud de la cámara de empuje para tales motores puede variar de 0,25 m a 0,7 m, con un diámetro de salida de la tobera de 0,15 m a 0,4 m. Los satélites también usan múltiples cámaras de empuje más pequeñas para maniobras finas y control de actitud (maniobras de rotación). Los motores de cohetes de propulsante líquido más pequeños se conocen más comúnmente como propulsores, y los más pequeños usan un solo propulsante que se descompone en lugar de mezclar oxidante y combustible. La Imagen 46 muestra un pequeño propulsante monopropelente que usa enfriamiento por radiación para mantener la pared metálica a una temperatura algo más baja que los gases.

Las toberas de cohetes líquidos y las cámaras de combustión están habitualmente hechas de metales que pueden ser brillantes, de un tono gris u oscurecidos. En ausencia de conductos de refrigeración líquida, las aleaciones metálicas utilizadas para cámaras de combustión y toberas varían desde acero inoxidable hasta aleaciones de níquel y columbio (niobio) u otros metales refractarios para temperaturas más altas. Los conductos de enfriamiento hacen que sea práctico usar materiales capaces de temperaturas más bajas, como cobre y posiblemente aleaciones de aluminio. El interior de una cámara de empuje puede verse diferente del exterior, debido a la presencia de recubrimientos o capas diferentes. Si bien las cámaras de empuje de cohetes más grandes generalmente están hechas de metal, las pequeñas pueden incluir materiales cerámicos.

**Apariencia (como empaquetado):** Todas las partes de misiles deben hacerse tan livianas como sea práctico, por lo que son relativamente frágiles. Es probable que se vean grandes cámaras de empuje de cohetes líquidos y toberas, si se envían por separado, en cajones de madera o rodeadas por marcos estructurales especialmente configurados para protegerlos de daños. Por lo general, habría láminas de plástico para mantenerlas limpias. Las cámaras de empuje de cohetes pequeñas se pueden enviar en cajones o en cajas rígidas especiales hechas de metal o plástico. Independientemente del material sólido exterior, la espuma blanda interna se configuraría para la forma del objeto.



Imagen 46: Un pequeño propulsante de cohetes que utiliza monopropelente de hidrazina líquida. La pared de la cámara de empuje es de metal delgado sin pasajes de enfriamiento, por lo que las superficies se oscurecen debido a las altas temperaturas. La porción de metal brillante permanece más fría debido al flujo de líquido a través del inyector. La longitud total es de aproximadamente 0,1 m. (Laboratorio Nacional Aerojet Redmond y Lawrence Livermore)

### 3.B. Equipo de prueba y producción

3.B.1. "Medios de producción" especialmente diseñadas para equipos o materiales especificados en 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10. o 3.C.

**Naturaleza y propósito:** Los medios de producción del subsistema son a menudo áreas industriales diseñadas para fabricar los conjuntos principales enumerados en los puntos 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10. y materiales en el Artículo 3.C. Puede haber equipos para probar estos dispositivos a nivel de componente y como ensamblajes antes de transferir el subsistema al almacenamiento o al centro de ensamblaje principal. Los motores de turboreactor, turboventilador y turbohélice diseñados para impulsar vehículos aéreos no tripulados se pueden fabricar en medios de producción de aeronaves civiles o militares. Los carteles de seguridad de peligro y explosivos generalmente están presentes en estas instalaciones.

**Método de operación:** Las plantillas y accesorios se utilizan para apoyar, alinear y ensamblar componentes individuales como motores turboreactores, turboventiladores y turbohélices, tanques de combustible y oxidante, carcasas de motores y conjuntos de motores. Los moldes, matrices y mandriles tienen un diseño único y se utilizan en la producción de componentes. Las grúas aéreas se utilizan para mover la materia prima y los componentes de sus contenedores de envío y plataformas rodantes a las plantillas de ensamblaje. Los dispositivos pirotécnicos se instalan en secciones de interetapas en instalaciones ubicadas de forma remota. Los materiales adecuados y los procedimientos de fabricación son fundamentales para la producción de bombas de servomotor y bombas de propulsantes líquidos fiables.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los medios de producción se utilizan para fabricar o producir UAV y subsistemas de cohetes a partir de materias primas o ensamblarlos a partir de componentes importados de fuentes externas. Los subsistemas terminados se cargan en contenedores o cajones individuales y se envían a una instalación para almacenamiento a largo plazo o a instalaciones para el ensamblaje y uso final.

**Otros usos:** Los medios de producción utilizados para fabricar motores UAV controlados por MTCR, construir motores de cohetes y motores, y equipos de prueba, también se pueden utilizar para fabricar productos asociados con aviones civiles y militares.

**Apariencia (como se fabrica):** Estas instalaciones pueden usar grúas aéreas para mover los subsistemas de UAV y de cohetes de una plantilla o área a otra. Las plantillas y accesorios de ensamblaje utilizados en la producción de sistemas de cohetes suelen ser estructuras grandes y pesadas. Su longitud y ancho total son aproximadamente del 20 % al 30 % más grandes que el sistema para el que están diseñados. Pesan cientos o incluso miles de libras. Las instalaciones de fabricación interetapas contienen riesgos de explosión e incluyen una conexión a tierra adecuada y otros procedimientos de mitigación de riesgos. Las instalaciones de fabricación entre etapas están asociadas con áreas de almacenamiento de explosivos y pueden ubicarse en regiones remotas lejos de áreas pobladas. Las bombas de propulsante líquido y las servoválvulas requieren materiales especializados y equipos de mecanizado de precisión para producir productos confiables.

Los medios de producción de motores de cohete propulsante líquido son actualmente más pequeñas que hace varias décadas, cuando se fabricaban grandes cantidades de misiles y sistemas. Balística de medio alcance los misiles y misiles más pequeños podrían fabricarse en una instalación que se parecería mucho a cualquier taller de máquinas grande y bien equipado.

Además, debería existir una instalación de garantía de calidad con laboratorios, incluyendo salas limpias y bancos de flujo de aire, bancos de granito, etc., con dispositivos de medición de precisión, incluidos microscopios electrónicos de barrido (SEM), rastreadores de gas con una ubicación capacidad de menos de 5 partes por millón y otros dispositivos de medición especializados según sea necesario.

**Apariencia (como empaquetado):** El equipo nuevo o las piezas de repuesto para este tipo de instalaciones a veces son grandes y pesadas para ser empaquetadas y enviadas a la planta de producción como unidades completas. En cambio, los componentes se envían por separado en cajones o palets protegidos para el montaje en el sitio. Se sujetarán de forma segura a la caja para restringir el movimiento y evitar daños. Las plantillas más pequeñas pueden embalarse individualmente o paletizarse para su envío.

3.B.2. "Equipo de producción" especialmente diseñado para equipos o materiales especificados en 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10. o 3.C.

**Naturaleza y propósito:** Cada instalación de producción del subsistema está diseñada para producir los artículos enumerados en 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10. y 3.C. contiene las plantillas y accesorios especializados necesarios para formar, mecanizar, ensamblar y probar el sistema de propulsión y los subconjuntos de equipos especificados en 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10. y 3.C. El equipo de mecanizado industrial se utiliza para fabricar componentes de motores turborreactores, turboventiladores y turbohélice. Las máquinas de fabricación aditiva están surgiendo como una opción viable para producir inyectores y componentes asociados. Es posible que haya equipos de rayos X grandes disponibles para verificar huecos y grietas en el motor del cohete propulsante sólido (consulte el Artículo 15.B.5 del Anexo de MTCR). Los equipos de prueba eléctricos y electrónicos se utilizan para soportar las pruebas funcionales y operacionales de los actuadores y otros subcomponentes.

#### **Método de operación:**

**Motores turborreactores y turboventiladores:** Los motores turborreactores, turboventiladores y turbohélices utilizados para impulsar los UAV (incluidos los misiles de crucero) se fabrican utilizando esencialmente la misma tecnología que sus homólogos más grandes en la industria de la aviación civil y militar. Estos motores están mecanizados con materiales tolerantes a la temperatura utilizando herramientas de aviación estándar y procedimientos de ensamblaje.

**Motores de cohete propulsante sólido:** El equipo utilizado para construir motores de cohetes propulsantes sólidos incluye maquinaria para trabajar el metal, posiblemente equipos de bobinado continuo de carcasas de filamentos.

Las carcasas de motor de cohete se fabrican de acero de alta resistencia en el tamaño y la resistencia de la carcasa diseñada, o se enrollan a partir de fibras compuestas para producir motores livianos tan fuertes como las carcasas de acero.

**Material aislante/revestimiento:** El motor cohete propulsante sólido requiere material aislante entre la pared de la carcasa y el propulsante para evitar que la pared de la carcasa falle debido al calor excesivo de la combustión. Este aislamiento es a menudo una capa delgada de goma o una capa de propelente sin el componente oxidante agregado (también conocido como "propelente inhibido").

**Toberas:** Las toberas para motores de cohete propulsante sólido se fabrican con material compuesto de grafito y requieren un equipo especializado para su construcción. Están construidas a partir de lingotes compuestos de estructuras enrolladas de fibra de carbono que se tratan térmicamente para curar la resina y las fibras en la forma deseada. Estos lingotes se densifican aún más al agregar resinas de impregnación y curar a temperaturas aún más altas, a menudo a presiones elevadas dentro de una atmósfera inerte. El proceso puede repetirse varias veces para aumentar la densidad del artículo final para cumplir con los criterios de diseño. Se pueden usar prensas isostáticas durante este proceso. Una vez que se producen los lingotes, se mecanizan a la forma de tobera diseñada utilizando instalaciones de taller de máquinas industriales que incorporan equipos de recolección de polvo.

**Motores de cohete de propulsante líquido:** El programa informático CAD/CAM (diseño asistido por ordenador y fabricación asistida por ordenador) se usa ampliamente en las fábricas de cohetes de hoy en día y en las instalaciones de soporte que proporcionan componentes al integrador del sistema del motor. Las válvulas de encendido y apagado de propulsores, por ejemplo, requieren fresadoras para fabricar piezas metálicas, como carcasas, incluidos asientos de válvulas y válvulas de pasador. Las bobinas electromagnéticas se unen a los pasadores, y las válvulas se colocan en plantillas de montaje (accesorios) para soldar con equipos especializados. Las válvulas ensambladas pasan por una serie de inspecciones para garantizar que cumplan con los requisitos de las especificaciones, inspecciones para las cuales se requiere equipo especializado. Las comprobaciones de fugas requieren el uso de helio de alta presión y un cromatógrafo de gases con capacidad de detección de al menos cinco partes por millón. Muchas otras pruebas de aceptación se completan durante la producción y entrega.

El mecanizado por descarga eléctrica (EDM) se ha utilizado ampliamente en la fabricación de inyectores. Cuando se desarrolló por primera vez, fue controlado por dispositivos de configuración y controles manuales. Actualmente, los enlaces EDM y CAD/CAM controlados por ordenador son la norma. Las máquinas de fabricación aditiva están surgiendo como una opción para hacer inyectores.

Cada componente del sistema de propulsión líquida tiene un conjunto análogo de equipos de producción para fabricar componentes y verificar que cumplan con los requisitos especificados. Después de que los componentes se prueban y se entregan al área de ensamblaje final, se ensambla el sistema de propulsión y se realizan numerosas mediciones y comprobaciones para confirmar que el dispositivo tal como está construido corresponde a las especificaciones de diseño.

En ese punto, el sistema podría instalarse en una instalación de prueba para verificar por operación que el sistema cumple con los requisitos del sistema. Los dispositivos de separación interetapas se fabrican en áreas remotas que incorporan precauciones de seguridad contra explosivos. Los dispositivos seguros y de brazo se prueban para garantizar que los dispositivos pirotécnicos sean seguros de manejar, pero se activarán cuando se los ordene. La prueba de hilo puente confirma que los cables eléctricos están conectados a los detonadores explosivos y que el circuito a través de la caja fuerte y el dispositivo de brazo está completo.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Los componentes y ensamblajes fabricados en estas instalaciones se utilizan para construir o probar motores turborreactores, turboventiladores, turbopropulsores, estatorreactor, estatorreactor de combustión supersónica, pulsorreactor y motores de ciclo combinado, carcasas de motores de cohetes, mecanismos de etapas de cohetes, sistemas de control de propulsores líquidos y tanques, y el forro y aislamiento utilizado en motores de propulsión sólidos. Se requiere que cada uno de estos artículos fabrique o ensamble un UAV o sistema de cohete controlado por MTCR.

**Otros usos:** El equipo de producción utilizado para fabricar motores UAV controlados por MTCR, motores de cohete propulsante sólido, motores de cohete propulsante líquido y equipo de prueba asociado también se pueden utilizar para fabricar productos asociados con aviones civiles y militares y subconjuntos de satélites o naves espaciales.

**Apariencia (como se fabrica):** Los equipos y accesorios utilizados en la producción de motores de cohete propulsante sólido suelen ser estructuras grandes y pesadas.

**Apariencia (como empaquetado):** Las plantillas y accesorios de ensamblaje de UAV y cohetes a menudo son demasiado grandes y pesados para ser empaquetados y enviados a la planta de producción como unidades completas. En cambio, los componentes se envían por separado en cajas grandes o se protegen en palets para su montaje en el sitio. Se sujetarán de forma segura a la caja para restringir el movimiento y evitar daños. Las plantillas más pequeñas pueden embalarse individualmente o paletizarse para su envío.

- 3.B.3. Máquinas de formación de flujo y componentes diseñados especialmente para ellas, que:
- a. De acuerdo con la especificación técnica del fabricante, puede equiparse con unidades de control numérico o un control por ordenador, incluso cuando no estén equipadas con tales unidades en el momento de la entrega; y
  - b. Tener más de dos ejes que se pueden coordinar simultáneamente para el control de contorno.

**Nota:**

*Este artículo no incluye máquinas que no se pueden usar en la "producción" de componentes y equipos de propulsión (por ejemplo, carcasas de motores e interetapas) para sistemas especificados en 1.A.*

**Nota técnica:**

*Las máquinas que combinen las funciones de conformación por rotación y por estirado se consideran como máquinas de conformación por estirado.*

- Austria
- China
- Francia
- India
- Japón
- Federación Rusa
- Suiza
- Reino Unido
- Bélgica
- Egipto
- Alemania
- Italia
- Polonia
- España
- E. A. U.
- Estados Unidos

Producción global



**Naturaleza y propósito:** Las máquinas de formación de flujo capaces de producir componentes para sistemas especificados en 1.A. son piezas grandes y pesadas de equipos de fabricación. Sus bases son masivas, a menudo requieren una base especial, para soportar los rodillos de formación, mandriles y otros componentes y para soportar las fuerzas de formación requeridas sin deformación. Las fuentes de alimentación, los arietes hidráulicos y los tornillos de posicionamiento también son lo suficientemente grandes como para resistir la desviación por las grandes fuerzas de formación.

**Método de operación:** Las máquinas de formación de flujo utilizan un proceso de deformación puntual mediante el cual uno o más rodillos se mueven a lo largo de una pieza de metal, o preforma, y lo presionan en un molde giratorio o sobre un mandril con la forma deseada.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Las máquinas de formación de flujo se utilizan para fabricar cajas de motores de cohetes, domos terminales y toberas.

**Otros usos:** Las máquinas de formación de flujo se utilizan para fabricar numerosas piezas para la industria aeroespacial, incluidas piezas de aviones comerciales, componentes de misiles tácticos y revestimientos para cargas conformadas. También se utilizan para fabricar ruedas de automóviles, componentes de transmisión automática para automóviles, contenedores de gas, cabezales de tanques a presión y contenedores para equipos electrónicos.

**Apariencia (como se fabrica):** Las máquinas formadoras de flujo pueden configurarse vertical u horizontalmente. Las configuraciones verticales pueden formar partes más grandes porque tienen brazos servo impulsados para sostener los rodillos y más caballos de fuerza para la deformación. Las configuraciones horizontales no tienen brazos de rodillos tan largos como los de las máquinas verticales. En la Imagen 47 (arriba a la derecha) se muestra un ejemplo de una máquina de formación de flujo utilizada para hacer domos finales para tanques de propulsantes. El proceso de conformación por estirado relacionado puede producir formas como las realizadas por el proceso de formación de flujo. Sin embargo, la conformación por estirado utiliza menos potencia para dar forma al material porque cambia muy poco el grosor del material de la forma previa a la forma final. Las instalaciones y equipos de producción especialmente diseñados se parecen a los equipos aeroespaciales y de fabricación, pero con atributos diseñados para un sistema dado.

**Apariencia (como empaquetado):** Las máquinas verticales más grandes generalmente requieren que las áreas de rodillos, las columnas verticales y los mandriles se empaqueten por separado en cajones de madera para su envío. Las máquinas verticales más pequeñas, así como las máquinas horizontales, pueden enviarse en grandes contenedores de madera, con los brazos de los rodillos enviados en la configuración ensamblada. Se sujetarán de forma segura a los contenedores para impedir el movimiento. La unidad de control y cualquier unidad hidráulica de suministro y potencia también se empaquetan por separado para su envío.





Imagen 47: *Parte superior derecha:* Una máquina de formación de flujo utilizada para hacer domos finales para tanques de propulsante. (Aerojet) *Abajo a la derecha:* Una máquina formadora de flujo horizontal. (Manual para el anexo de doble uso del Grupo de Proveedores Nucleares, Informe n.º LA-13131-M (abril de 1996) *Izquierda:* Una máquina de formación de flujo vertical. (Ibídem)

3.C. Materiales

3.C.1. 'Forro protector' utilizable para carcasas de motores de cohetes en los subsistemas especificados en 2.A.1.c.1. o especialmente diseñado para subsistemas especificados en 20.A.1.b.1.

**Nota técnica:**

En 3.C.1. El 'forro protector' apropiado para la interfaz de unión entre el propulsante sólido y la cámara, o el aislante, normalmente se trata de una dispersión de materiales refractarios o aislantes en una base polímera líquida, por ejemplo, polibutadieno con grupos terminales hidroxílicos (HTPB) cargado con carbono, u otro polímero con agentes de curado añadidos, pulverizado o colocado por tiras en el interior de la carcasa.

- Argentina
- Azerbaiyán
- Brasil
- China
- Francia
- India
- Israel
- Japón
- Malasia
- Nueva Zelanda
- Pakistán
- Portugal
- Federación Rusa
- República de Corea
- Suecia
- Turquía
- Estados Unidos
- Austria
- Bélgica
- Canadá
- República Checa
- Alemania
- Irán
- Italia
- Kazajstán
- Países Bajos
- Noruega
- Polonia
- Rumanía
- Sudáfrica
- España
- Suiza
- Reino Unido

Producción global



**Naturaleza y propósito:** El forro protector, o revestimiento, es una capa delgada de productos químicos especiales que se utilizan para ayudar a que el propulsante sólido se adhiera al aislamiento de la carcasa. El forro generalmente está hecho de elastómeros o plásticos, y generalmente está compuesto por el mismo aglutinante que se usa en el propulsante más aditivos, como el negro de humo, que mejoran la resistencia del revestimiento.

**Método de operación:** El forro de un motor de cohete de propulsante sólido es un adhesivo líquido que se usa para unir el propulsante al aislamiento. A menudo es una capa gruesa de 10 mm a 20 mm de un material gomoso aplicado al interior de la carcasa del motor y luego curado parcialmente. El propulsante recién mezclado (sin curar) se vierte en la carcasa del motor contra este forro parcialmente curado. La curación tanto del propulsante como del forro se completa a una temperatura elevada.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Todos los motores de cohete de propulsante sólido usan forro. El forro une el propulsante sólido al aislamiento de la carcasa del motor del cohete.

**Otros usos:** Algunos materiales utilizados en los

forros protectores de motores de cohetes se utilizan en aplicaciones militares o comerciales que requieren materiales resistentes al calor.

**Apariencia (como se fabrica):** El forro protector a menudo está hecho del aglutinante utilizado en la mezcla sólida de propulsante sin el componente oxidante agregado (también conocido como "oxidante inhibido"). Es difícil identificar el aislamiento de la carcasa del propulsante sólido sin realizar varias pruebas químicas en muestras del material.

**Apariencia (como empaquetado):** Debido a que el revestimiento interior a menudo está hecho del mismo aglutinante utilizado en la mezcla de propulsores sólidos (sin el componente oxidante agregado) y se usa poco antes de echar el propulsante sólido en la carcasa del motor, generalmente no se empaqueta para su envío.

3.C.2. Material de 'aislamiento' indiferenciado utilizable para cajas de motores de cohetes en los subsistemas especificados en 2.A.1.c.1. o especialmente diseñado para subsistemas especificados en 20.A.1.b.1.

**Nota técnica:**

En 3.C.2. el 'aislamiento' destinado a ser aplicado a los componentes de un motor de cohete, es decir, la caja, las entradas de tobera, los cierres de la caja, las capas de goma curada o semicurada que contengan material aislante o refractario. Puede estar incorporado también como botas o aletas de alivio de tensión especificadas en 3.A.3.

- Argentina
- Azerbaiyán
- Brasil
- China
- Francia
- India
- Israel
- Japón
- Malasia
- Nueva Zelanda
- Pakistán
- Portugal
- Federación Rusa
- República de Corea
- Suecia
- Turquía
- Estados Unidos
- Austria
- Bélgica
- Canadá
- República Checa
- Alemania
- Irán
- Italia
- Kazajstán
- Países Bajos
- Noruega
- Polonia
- Rumanía
- Sudáfrica
- España
- Suiza
- Reino Unido

Producción global



**Naturaleza y propósito:** La función principal del aislamiento es proteger la carcasa del motor de los productos de combustión (especialmente el calor) durante el vuelo. El aislamiento de la carcasa también debe cumplir varios objetivos secundarios. El aislamiento debe unir mecánicamente la pared de la carcasa con el propulsante. También debe soportar las tensiones causadas por la contracción térmica del propelente, el peso del propelente durante el almacenamiento del motor y la inercia del propelente, particularmente en las etapas superiores, durante la aceleración.

**Método de operación:** El aislamiento de la carcasa del motor está dimensionado para permitir una cantidad máxima de propulsante en la carcasa del motor, pero lo suficientemente grueso como para proteger la carcasa durante el tiempo de combustión previsto más un margen de seguridad. Las aletas de alivio de tensión, ubicadas en los domos del extremo delantero y trasero, se utilizan para evitar deformaciones de la carcasa debido a la alta presión interna. Las deformaciones de la carcasa en estas áreas probablemente inducirán grietas de tensión en el grano del propulsante o en el aislamiento de la carcasa, lo que provocará una falla de la carcasa del motor en vuelo. El aislamiento generalmente está hecho de elastómeros o plásticos, y muchas veces el aislamiento está hecho de material de caucho sintético como el monómero de dieno de etileno propileno (EPDM), polibutadieno, neopreno o caucho de nitrilo. El material de aislamiento puede contener sílice o asbesto y parecerse a una lámina de goma gris o verde.

**Usos típicos relacionados con misiles:** El objetivo principal del aislamiento de la carcasa es proteger la carcasa del motor del cohete propulsante sólido de los productos de combustión (especialmente el calor) durante el vuelo.

**Otros usos:** Algunos materiales utilizados en los forros protectores o el aislamiento de motores de cohetes se utilizan en aplicaciones militares o comerciales que requieren materiales resistentes al calor.

**Apariencia (como se fabrica):** El aislamiento interno es una lámina de sustancia gomosa que tiene un grosor de 3 mm a 10 mm y un ancho de hasta 1 m. El aislamiento es normalmente de color verde, gris, marrón oscuro o negro.

**Apariencia (como empaquetado):** El material de aislamiento se envía en rollos grandes de hasta 1,0 m de ancho y 0,5 m de diámetro y sellado en cajas. La carcasa del motor cohete propulsante sólido puede o no tener aislamiento interno en su lugar cuando se envía.

### 3.D. Software

3.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de "medios de producción" y máquinas formadoras de flujo especificadas en 3.B.1. o 3.B.3.

- Austria
- China
- Alemania
- Italia
- Polonia
- República de Corea
- España
- Suecia
- Ucrania
- Bélgica
- Francia
- India
- Japón
- Federación Rusa
- Suiza
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción global



**Naturaleza y propósito:** programas informáticos controlados bajo el Artículo 3.D.1. se utiliza para operar las instalaciones o máquinas de formación de flujo utilizadas para producir motores turborreactores, turboventiladores, turbohélices, estatorreactor y estatorreactor de combustión supersónica y componentes relacionados; carcasas de motor de cohete propulsante sólido, componentes y materiales de aislamiento, materiales de forro protector y toberas; mecanismos de preparación y separación y secciones entre etapas; bombas propulsantes de líquido o gel, servoválvulas, cámaras de combustión, toberas y tanques; y componentes especialmente diseñados para motores de cohetes híbridos.

**Método de operación:** Las máquinas herramientas modernas son controladas numéricamente por ordenador (CNC). El microprocesador en cada máquina lee el programa Código G que crea el usuario y realiza las operaciones programadas. Los

ordenadores personales se utilizan para diseñar las piezas y también para escribir programas, ya sea escribiendo manualmente el Código G o usando el programa informático Computer Aided Manufacturing (CAM) que genera el Código G a partir de la entrada de herramientas y trayectoria de los usuarios. Los programas de código G generados por CAM deben ser procesados posteriormente en la máquina específica CNC que se está empleando. Los programas y bibliotecas genéricos de generación de código G están disponibles en el dominio público.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Las herramientas de máquina controladas por ordenador se utilizan en la fabricación de inyectores de motores de cohete de propulsante líquido que tienen cientos de pequeños elementos inyectores. Las máquinas de fabricación aditiva CNC (AM) también se están utilizando para fabricar inyectores e inyectores pre-quemadores de elementos múltiples.

Los procesos como la unión por difusión de placas delgadas utilizan hornos que pueden ser controlados por ordenador. La deposición por pulverización de plasma y otros tipos de revestimiento de materiales, como la galvanoplastia, utilizan métodos de control por ordenador.

El ensamblaje de partes de un motor de cohete de propulsante líquido (inyectores a cámaras y cámaras a toberas) generalmente se sueldan, a excepción de las unidades de prueba en tierra de "caballo de trabajo". Dicha soldadura "orbital" (360 grados alrededor de una superficie cilíndrica) está actualmente controlada por ordenador, lo que requiere un programa informático especialmente diseñado.

La inspección de los artículos de producción también está cada vez más bajo controles informáticos. Los inyectores, por ejemplo, contienen cientos de agujeros de inyectores que deben verificarse en cuanto a tamaño, ubicación y orientación. Se utilizan comparadores ópticos controlados por ordenador para realizar esta inspección, y se requiere un programa informático especialmente desarrollado.

**Otros usos:** El "programa informático" utilizado para fabricar motores de turbina de gas controlados por MTCR, carcasas y toberas de motores de cohete propulsante sólido, motores de cohete de propulsante líquido y equipos de prueba también se pueden utilizar para fabricar productos asociados con aviones civiles y militares y cohetes de sondeo utilizados para estudiar el clima y condiciones atmosféricas a varias altitudes. Este "programa informático" también puede emplearse, con modificaciones, para controlar otras operaciones industriales.

**Apariencia (como se fabrica):** Este "programa informático" toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este programa informático y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos, las unidades flash USB y los documentos que contienen este programa informático no se pueden distinguir de ningún otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que el "programa informático" se ejecute en el ordenador adecuado. Este "programa informático", incluida la documentación, es capaz de transmitirse electrónicamente a través de una red informática.

3.D.2. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" del equipo especificado en 3.A.1., 3.A.2., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6. o 3.A.9.

**Notas:**

1. "Programas informáticos", especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de motores especificados en 3.A.1., pueden exportarse como parte de una aeronave tripulada o como "programas informáticos" de reemplazo para la misma.
2. Los "programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de los sistemas de control de propulsores especificados en 3.A.5. pueden exportarse como parte de un satélite o como "programas informáticos" de reemplazo para el mismo.

**Naturaleza y propósito:** Este "programa informático" se utiliza para operar, instalar, mantener, reparar y revisar/restaurar motores turborreactores, turboventiladores y turbohélices; motores de estatorreactor, estatorreactor de combustión supersónica y pulsorreactor; mecanismos de preparación de cohetes, mecanismos de separación y secciones interetapas; bombas propulsantes de líquido o gel y servoválvulas; y componentes especialmente diseñados para motores de cohetes híbridos.

**Método de operación:** Antes del lanzamiento, el "programa informático" de vuelo descrito en esta sección se carga en los ordenadores de vuelo y los controladores de vuelo de cohetes y UAV para controlar todas las actividades y operaciones en vuelo, como la puesta en escena de misiles balísticos. Este tipo de "programas informáticos" también se utiliza para controlar el funcionamiento de motores de propulsores líquidos y motores de propulsores de gel.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Este "programa informático" se utiliza para motores turborreactores, turboventiladores y turbohélices; motores de estatorreactor/estatorreactor de combustión supersónica/pulsorreactor; mecanismos de preparación de cohetes, mecanismos de separación y secciones interetapas; y bombas propulsantes de líquido o gel y servoválvulas. A menudo, este tipo de "programas informáticos" puede iniciar automáticamente el análisis de mal funcionamiento para identificar componentes defectuosos.

**Otros usos:** N/C.

**Apariencia (como se fabrica):** Por lo general, este programa informático toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este "programas informáticos" y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos, las unidades flash USB y los documentos que contienen este programa informático no se pueden distinguir de ningún otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que el "programa informático" se ejecute en el ordenador adecuado. Este "programa informático", incluida la documentación, es capaz de transmitirse electrónicamente a través de una red informática.

3.D.3. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para el "desarrollo" de los equipos especificados en 3.A.2., 3.A.3. o 3.A.4.

**Naturaleza y propósito:** Este "programa informático" se utiliza para investigar y diseñar motores de estatorreactor/estatorreactor de combustión supersónica/pulsorreactor; carcasas de motor de cohete propulsante sólido con aislamiento y revestimientos, y toberas; y mecanismos de preparación de cohetes, mecanismos de separación y secciones entre etapas; y para desarrollar procedimientos de producción piloto, configuración y programas de integración para estos artículos.

**Método de operación:** El "programa informático" descrito en esta sección se usa en los ordenadores para desarrollar procedimientos detallados de fabricación en serie y en paralelo, para diseñar los diversos componentes enumerados en esta sección, para operar máquinas controladas por ordenador que se usan para fabricar los diversos conjuntos, y para diseñar, modelar y probar la configuración y programas de integración para cada uno de estos elementos.

**Usos típicos relacionados con misiles:** Este "programa informático" se instala en ordenadores de propósito general para evaluar el diseño e instalar en equipos automatizados especializados para el desarrollo adicional de motores de estatorreactor/estatorreactor de combustión supersónica/pulsorreactor; carcasas de motor de cohete propulsante sólido con aislamiento y forros, y toberas; y mecanismos de preparación de cohetes, mecanismos de separación y secciones entre etapas. Por lo general, esta tarea se completa con una serie de planificación, simulación, modelado de flujo y otros paquetes de "programas informáticos". Otro "programa informático" en este artículo se utiliza para desarrollar los procedimientos de producción piloto, la configuración y los programas de integración para estos artículos.

**Otros usos:** En general, el programa informático de diseño de ingeniería tiene una gran variedad de usos, mientras que el "programa informático" de producción y desarrollo puede usarse, con modificaciones, para diseñar y probar otras operaciones detalladas en grandes organizaciones industriales, como la producción y distribución de petróleo.

**Apariencia (como se fabrica):** Por lo general, este "programa informático" toma la forma de un programa informático que históricamente se habría almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros, pero que también podría venderse y transferirse directamente a través de Internet. Cualquier medio común que incluya cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos puede contener este programa informático y datos.

**Apariencia (como empaquetado):** La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, los discos compactos, las unidades flash USB y los documentos no se pueden distinguir de ningún otro medio de almacenamiento. Solo el etiquetado y la documentación adjunta pueden indicar su uso a menos que el "programa informático" se ejecute en el ordenador adecuado. Este "programa informático", incluida la documentación, puede transmitirse electrónicamente a través de una red informática. En el siglo XXI, Internet es un medio muy probable para las transferencias de programas informáticos a través de las fronteras.

### 3.E. Tecnología

3.E.1. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos, materiales o "programas informáticos" especificados en 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10., 3.B., 3.C. o 3.D.

**Naturaleza y propósito:** La "Tecnología" controlada bajo el artículo 3.E.1. cubre las instrucciones y los conocimientos necesarios para "desarrollar", "producir" o "utilizar" cualquiera de los equipos, materiales o "programas informáticos" especificados en 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10., 3.B., 3.C. o 3.D.

**Método de operación:** La "asistencia técnica" está disponible en muchas formas. La "asistencia técnica" puede consistir en la instrucción proporcionada por una persona con experiencia en uno o más temas controlados, como motores de cohete de propulsante líquido, que actúa como entrenador en un aula en o cerca del sitio de producción. Un país puede recibir "asistencia técnica" de uno o más servicios de consultoría que se especializan en una habilidad de producción particular, o en la adquisición de artículos o materiales técnicos. Además, un país puede recibir "asistencia técnica" enviando estudiantes a otros países que poseen la tecnología para asistir a la capacitación y practicar las habilidades necesarias para construir los sistemas requeridos. Todos los manuales y materiales recibidos durante la capacitación pueden calificar como "datos técnicos".

**Usos típicos relacionados con misiles:** Con una excepción limitada, la "asistencia técnica" requerida para construir sistemas de cohetes y UAV se usa solo para esos fines. Los cohetes de sondeo utilizados en la investigación del clima, con pequeños ajustes, pueden convertirse en misiles balísticos. La "tecnología" utilizada en cada dispositivo es muy similar.

**Otros usos:** Algunas "tecnologías" utilizadas para diseñar, fabricar y probar UAV pueden tener funcionalidad en la industria de aviones comerciales o militares. La "tecnología" relacionada con las carcasas de motores de acero de alta resistencia que forman flujos también tiene aplicación en la producción de intercambiadores de calor comerciales e industriales.

**Apariencia (como se fabrica):** N/C

**Apariencia (como empaquetado):** N/C