

Categoría II - Artículo 4
Propulsores, productos
químicos y producción de
propulsores

Categoría II - Artículo 4: Propulsores, productos químicos y producción de propulsores

4.A. Equipos, ensamblajes y componentes

Ninguno.

4.B. Equipo de prueba y producción

4.B.1. "Equipo de producción" y componentes diseñados especialmente para ellos, para la "producción", manejo o pruebas de aceptación de los propulsores líquidos o constituyentes de propulsores líquidos especificados en 4.C.

- | | |
|----------------------|-------------------|
| • Argentina | • Australia |
| • Austria | • Bélgica |
| • Brasil | • Bulgaria |
| • Canadá | • China |
| • República Checa | • Egipto |
| • Finlandia | • Francia |
| • Alemania | • Grecia |
| • India | • Irán |
| • Israel | • Japón |
| • Corea del Norte | • Pakistán |
| • Polonia | • Federación Rusa |
| • República Eslovaca | • Sudáfrica |
| • República de Corea | • España |
| • Suecia | • Ucrania |
| • Reino Unido | • Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: Los componentes individuales de los equipos de producción de propulsores líquidos son comunes a cualquier instalación de destilación de petróleo o planta química grande. Los componentes típicos incluyen tanques de reactor, condensadores, columnas de recuperación, calentadores, evaporadores, conjuntos de filtros, decantadores, enfriadores, separadores de gas y bombas centrífugas. Ninguno de estos componentes por sí mismos está especialmente diseñado para su uso en la fabricación de propulsores líquidos. Sin embargo, cuando se combina en un medio de producción de propulsores, dicho medio generalmente está optimizado para la producción de un propulsante particular y no es adecuado para hacer cualquier otra cosa.

Las tecnologías para fabricar propulsores líquidos son generalmente bien conocidas, aunque varias compañías pueden tener procedimientos patentados para maximizar el rendimiento, minimizar el costo o encontrar usos alternativos para los subproductos.

Las pruebas de aceptación de propulsores líquidos requieren equipos analíticos comunes a la mayoría de los laboratorios de control de calidad química, incluidos equipos como cromatógrafos de gases, espectrómetros de absorción atómica, espectrómetros infrarrojos y calorímetros de bomba. Este equipo generalmente se puede usar sin modificación para analizar los propulsores de cohetes de propulsante líquido para su aceptación.

Método de operación: Los métodos de producción específicos dependen del propulsante que se fabrica. Muchos de los componentes utilizados en los propulsores líquidos se producen comúnmente con fines comerciales, pero requieren un procesamiento adicional para purificar, estabilizar, inhibir o mezclar para lograr ciertas propiedades. Por ejemplo, se usa ácido sulfúrico o carbonato de magnesio para purificar el ácido nítrico. El ácido nítrico comercial, generalmente combinado con agua como hidrato, contiene solo 55 % a 70 % de ácido. El procesamiento químico es necesario para romper los hidratos para producir 97 % a 99 % de ácido nítrico anhidro (sin agua) puro. Para formar ácido nítrico de humo rojo inhibido (IRFNA), se agrega N_2O_4 al ácido nítrico concentrado para estabilizarlo contra la descomposición rápida, y se agregan pequeñas cantidades de fluoruro de hidrógeno (HF) para reducir la corrosión de los contenedores.

Usos típicos relacionados con misiles: Se requieren equipos de prueba de aceptación y producción de propulsores líquidos para desarrollar una capacidad autóctona para fabricar propulsores.

Otros usos: Los equipos y tecnologías son de uso común y ampliamente conocidos en las industrias de producción de petróleo y productos químicos.

Apariencia (como se fabrica): En general, las instalaciones completas de fabricación de propulsores líquidos no se compran y transfieren de una sola pieza; se ensamblan a partir de muchas piezas comunes de equipos de procesos químicos e industriales. A menos que se envíe una planta llave en mano, los elementos que se encuentran con mayor probabilidad son probablemente los planos, dibujos, cálculos y listas de equipos asociados con el diseño de una planta. Incluso hay un programa informático disponible comercialmente que ayuda a los ingenieros químicos a diseñar dichas instalaciones.

Apariencia (como empaquetado): El tamaño del equipo de fabricación de propulsante líquido dicta el embalaje. Las máquinas más pequeñas se empaquetan en contenedores que absorben los golpes o se unen a paletas acolchadas aisladas de otros paquetes. Las máquinas más grandes se desmontan para su envío y se vuelven a montar en el sitio, y sus componentes se empaquetan por separado en cajas o paletas.

4.B.2. "Equipos de producción", distintos de los descritos en 4.B.3., Y componentes diseñados especialmente para ellos, para la producción, manipulación, mezcla, curado, fundición, prensado, mecanizado, extrusión o pruebas de aceptación de propulsores sólidos o componentes propulsores especificados en 4.C.



Imagen 48: Un mandril de fundición

mezclado continuo. La mayoría de los programas de misiles utilizan el proceso por lotes para hacer un propulsante sólido de motor de cohete. Después de la recepción y la prueba de aceptación de los ingredientes individuales, el perclorato de amonio (AP) generalmente se tritura en un molino de energía fluida para obtener el tamaño de partícula requerido. Todos los ingredientes, incluyendo el aglutinante, AP, polvo metálico, estabilizadores, agentes de curado y modificadores de la velocidad de combustión, se mezclan en grandes mezcladoras para formar un semilíquido viscoso. La suspensión de propulsor se vierte o se vierte en la caja del motor del cohete (Figura 49), en la cual un mandril (ver Figura 48) crea una cámara hueca que corre por el centro del motor. La carcasa del motor cargada se coloca en un horno grande para curar el propulsante. Durante el curado, el semilíquido se transforma en un material duro y gomoso llamado grano propulsante. El motor del cohete con el propulsante curado se enfría, se retira el mandril y se completa cualquier operación final de corte o mecanizado. Los motores terminados suelen tener rayos X (Imagen50) para garantizar que el grano propulsante sea homogéneo, adherido a la carcasa en todas partes y sin grietas. Se pueden usar métodos adicionales de ensayo no destructivo (NDT) como el pulso-eco ultrasónico de haz longitudinal para verificar la integridad de la línea de unión entre la carcasa y la capa de aislamiento.

En la mezcla continua, los mismos ingredientes del propulsante se miden continuamente en una cámara de mezcla, se mezclan y se descargan continuamente en el motor u otro recipiente hasta que se haya obtenido la cantidad requerida de propulsante. Este tipo de mezcla es difícil porque es difícil medir con precisión pequeñas cantidades de algunos ingredientes, como los agentes de curado necesarios para algunas mezclas de propulsores. La mezcla continua, por lo tanto, no se utiliza en gran medida.

Naturaleza y propósito: El equipo de producción y la infraestructura necesarios para producir un propulsante de cohete sólido son complejos y especializados. Las instalaciones y el equipo son necesarios para preparar los diversos ingredientes del propulsante, mezclar y manipular el propulsante, moldear y curar el propulsante dentro de la carcasa del motor y otras operaciones especializadas como prensado, mecanizado, extrusión y pruebas de aceptación.

Método de operación: El propulsante sólido se produce mediante uno de dos procesos, ya sea mezclado por lotes o



Imagen 49: El propulsante sólido en forma líquida se vierte en las carcasas de los cohetes y se moldea en la forma requerida. El bastidor se mueve mediante un soporte hidráulico para eliminar burbujas u otros defectos. (JAXA)

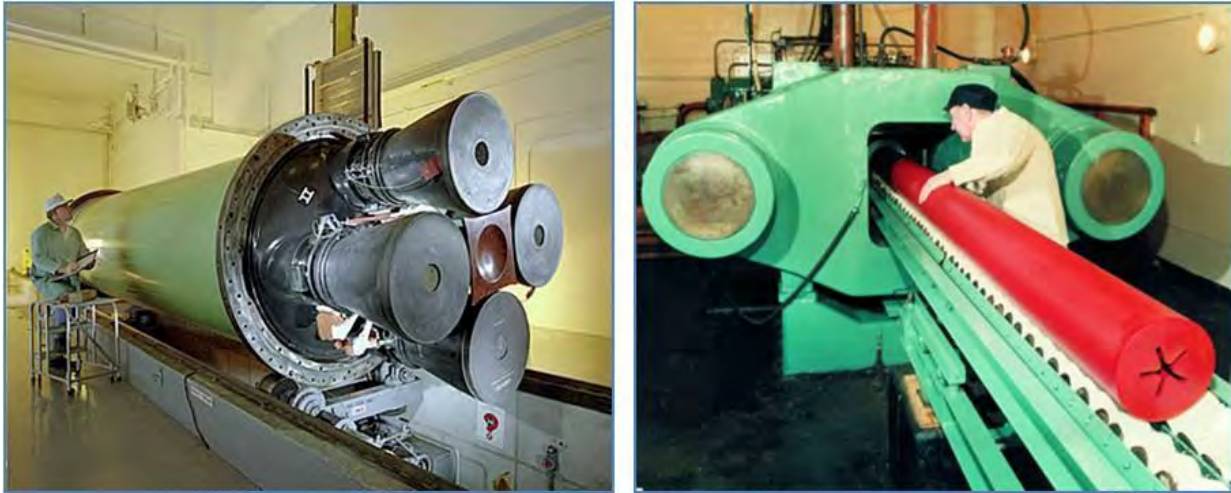


Imagen 50: Motores terminados en rayos X para garantizar que el grano del propulsante sea homogéneo, adherido a la carcasa y libre de grietas y otras imperfecciones. (JAXA)

Usos típicos relacionados con misiles: Los mejores propulsores sólidos mejoran el alcance de misiles y la capacidad de carga útil. Se requieren equipos de producción de propulsores sólidos y equipos de prueba de aceptación para que una nación desarrolle una capacidad autóctona para producir propulsores para misiles impulsados por motores de cohetes.

Otros usos: N/C

Apariencia (como se fabrica): Se utilizan dispositivos especializados para lanzar el propulsante creando un vacío, que elimina el aire del propulsante a medida que se vierte en la carcasa del motor del cohete. El tamaño de estos dispositivos varía con el tamaño de los motores de cohete, pero los principios de funcionamiento son los mismos. El equipo y el proceso para un motor pequeño se muestran en la Imagen 4. El propulsante mixto se vierte del recipiente de mezcla en un embudo de fundición grande que está unido al motor del cohete. Una válvula grande en el cuello del embudo de fundición aísla el motor en el vacío de las condiciones atmosféricas ambientales. Una vez que el embudo de fundición está lleno de propulsante, la válvula se abre lentamente para permitir que el propulsante fluya en la carcasa del motor del cohete. Los motores a veces se funden en un pozo de fundición/curado, que es una estructura subterránea de hormigón revestida con bobinas de calentamiento. Se evacua todo el pozo antes de que comiencen las operaciones de lanzamiento. Al igual que con otros equipos propulsores especializados, el equipo de fundición generalmente se construye en el sitio; su tamaño depende del tamaño del motor y de la manera en que se realiza la operación de fundición.

El tamaño del equipo de curado varía desde hornos grandes, calentados por electricidad o vapor, hasta grandes edificios con calefacción. Este equipo no está particularmente especializado porque el proceso es simple y solo requiere que la temperatura del motor se eleve durante un período de tiempo determinado. Las fosas de fundición/curado grandes son instalaciones permanentes en el sitio.

El equipo utilizado para las pruebas de aceptación de un lote de propulsante es idéntico al equipo que se encuentra en una química analítica o un laboratorio de pruebas de materiales.

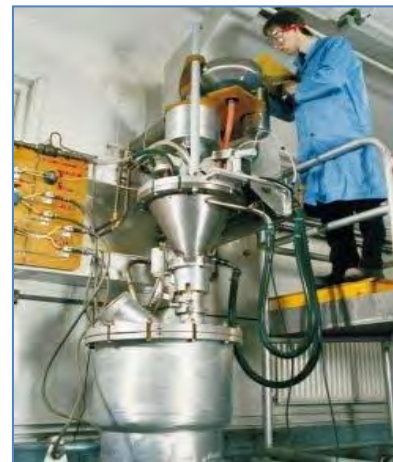


Imagen 51: Equipo de mezcla de doble base fundido semilíquido para motores pequeños. (British Aerospace Limited)

- Argentina
- Brasil
- China
- Finlandia
- Alemania
- Irán
- Israel
- Japón
- Pakistán
- Sudáfrica
- España
- Suiza
- Ucrania
- Estados
- Bélgica
- Canadá
- Egipto
- Francia
- India
- Irlanda
- Italia
- Países Bajos
- Federación Rusa
- República de Corea
- Suecia
- Siria
- Reino Unido

Producción global



Este equipo se utiliza para realizar pruebas químicas para verificar la composición; para quemar pequeñas cantidades de propulsante o probar motores de subescala para verificar la velocidad de combustión; y realizar pruebas de tracción para asegurar que el propulsante tenga las propiedades físicas requeridas por el diseño del motor del cohete.

El mecanizado de superficies sólidas de propulsantes generalmente se realiza mediante grandes máquinas de corte especialmente modificadas para acomodar los riesgos de seguridad asociados con los propulsantes sólidos. Muchos de estos tipos de máquinas están construidos específicamente para un motor de cohete particular.

Los granos propulsantes sólidos para los motores de cohetes grandes de interés suelen ser demasiado grandes para ser manejados directamente por una extrusora. Sin embargo, algunos propulsantes de interés del MTCR se extruyen en una etapa de procesamiento preliminar. La extrusión generalmente se limita a granos propulsantes de menos de 0,3 m de diámetro y tiene más aplicación en táctica aire-aire, misiles superficie-aire y aire-superficie.

Apariencia (como empaquetado): El tamaño de los equipos de producción de propulsantes sólidos dicta su embalaje. Las máquinas más pequeñas se embalan en contenedores que absorben los golpes o se unen a palets acolchados. Las máquinas más grandes se desmontan para su envío y se vuelven a montar en el sitio. Sus componentes se empaquetan por separado en cajas o palets.

4.B.3. Equipo de la siguiente manera, y componentes especialmente diseñados para ello:
 a. Mezcladoras por lotes con capacidad para mezclar al vacío en el rango de cero a 13,326 kPa y con capacidad de control de temperatura de la cámara de mezcla y que tengan todo lo siguiente:

1. Con una capacidad volumétrica total de 110 litros o más, y
2. Al menos un 'eje mezclador/amasador' descentrado;

Nota:

En el punto 4.B.3.a.2. el término 'eje mezclador/amasador' no se refiere a desaglomeradores o husillos cortantes.

b. Mezcladoras continuas con capacidad para mezclar bajo vacío en el rango de cero a 13,326 kPa y con capacidad de control de temperatura de la cámara de mezcla y que tengan cualquiera de las siguientes características:

1. Dos o más ejes mezcladores/amasadores; o
2. Un eje único rotatorio oscilante con púas o dientes amasadores, así como púas o dientes amasadores en el interior de la carcasa de la cámara de mezcla;

- Argentina
- China
- Alemania
- Irán
- Japón
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

- Brasil
- Francia
- India
- Israel
- Pakistán

Producción global



Naturaleza y propósito: Las mezcladoras por lotes son potentes máquinas mezcladoras para cantidades por lotes de material muy viscoso. Se derivan de máquinas utilizadas para mezclar masa de pan. Su propósito es mezclar líquidos y polvos de diferentes densidades en una mezcla uniforme.

Las mezcladoras continuas son potentes máquinas mezcladoras que funcionan de manera fluida. Mezclan cantidades mayores que las mezcladoras por lotes para la producción de alto volumen.

Método de operación: Las mezcladoras por lotes funcionan de manera muy similar a un mezclador eléctrico doméstico. El recipiente contiene los ingredientes que se pueden agregar en secuencia, mientras que las paletas giratorias mezclan todo. El control de la temperatura y el vacío se mantienen rodeando el recipiente con una camisa de agua y cubriendo el recipiente con una tapa sellada (Imagen 52).

Las mezcladoras continuas alimentan gradualmente todos los ingredientes simultáneamente en sus proporciones correctas a través de la región de mezcla. Los ejes mezcladores/amasadores mezclan completamente el flujo continuo de líquidos y polvos y la mezcla uniforme se descarga gradualmente desde la tubería grande en una corriente viscosa constante.

Usos típicos relacionados con misiles: Las mezcladoras por lotes y continuas se utilizan para mezclar cantidades precisas de constituyentes propulsantes líquidos y en polvo en una mezcla muy uniforme. Esta mezcla arderá violentamente si se enciende entonces los procedimientos de seguridad son fundamentales.



Imagen 52: Un recipiente para mezclar propulsante de 420 galones. (JAXA)

A 2 m de diámetro, como se muestra en la Imagen 53, pero puede ser significativamente mayor para mezcladoras de más de 450 galones (1,700 l). Son de doble pared; la pared interna está hecha de acero inoxidable altamente pulido y la pared externa generalmente está hecha de acero laminado en frío, a veces pintado. El espacio entre las paredes se utiliza para una camisa de calentamiento/refrigeración de agua fría/caliente. La pared exterior tiene dos válvulas para la conexión de las mangueras de entrada/salida de agua. El recipiente generalmente está soldado a una placa rectangular de acero gruesa con ruedas en cada esquina. Las ruedas pueden tener ranuras para que el ensamblaje del recipiente se puede colocar sobre rieles para facilitar el movimiento.

A veces, el borde superior del tazón es una superficie plana mecanizada con una ranura grande para acomodar una junta tórica (junta); otras veces el cabezal mezclador está provisto de una o más de tales ranuras. El propósito de la junta tórica es proporcionar un sello mientras la operación de mezcla está bajo vacío. El conjunto de paletas consta de dos o tres cuchillas grandes, también de acero inoxidable altamente pulido. La mayoría de los conjuntos usan paletas de pala retorcida donde una de las paletas a veces tiene una abertura. Otros conjuntos usan paletas con forma de tornillo de corcho. Aunque no es evidente en la configuración de envío, el conjunto de paletas funciona de manera "planetaria"; es decir, la paleta central gira en una posición fija mientras que la otra o las dos paletas giran sobre sus propios ejes, así como giran sobre la cuchilla fija central. Los componentes restantes de la mezcladora incluyen un motor eléctrico, conjunto de engranaje, cabezal mezclador y estructura de soporte.

Apariencia (como empaquetado): Las mezcladoras pueden enviarse como unidades completas o como componentes. Como dispositivos mecanizados con precisión, las paletas mezcladoras se empaquetan para protegerlas de daños y el entorno de envío. Es probable que se incorporen al ensamblaje del cabezal mezclador y el marco y se acunen de forma segura en el material de aislamiento de choque que bloquea durante el envío. Los recipientes para mezclar son equipos grandes y pesados que también pueden enviarse en cajas grandes y fuertes de madera. Están bien sujetos a las cajas para evitar daños. Las cajas tienden a carecer de características distintivas o marcas.

La mezcla producida es luego fundida y curada en otro proceso para crear un material compuesto de goma que sirve como propulsante en un motor de cohete de propulsante sólido.

Otros usos: Se pueden usar mezcladoras por lotes y continuas siempre que se requiera la producción de una mezcla viscosa. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones comerciales no requerirán el control de temperatura y las capacidades de vacío especificadas en el Artículo 4.B.3.

Apariencia (como se fabrica): Los componentes más distintivos de una mezcladora por lotes son el tazón de mezcla y el conjunto de paletas de mezcla. Los recipientes para mezclar son típicamente de 0,75 m a 1,5 m de profundidad y 1



Imagen 53: propulsante sólido mezclado en una mezcladora planetaria vertical de 600 galones. (Thiokol Corp.)

4.B.3.c. Molinos de energía fluida utilizables para moler o triturar las sustancias especificadas en 4.C.;

- Australia
- China
- Alemania
- Italia
- Luxemburgo
- Nueva Zelanda
- Sudáfrica
- Suecia
- Ucrania
- Estados Unidos
- Bélgica
- Francia
- India
- Japón
- Países Bajos
- Federación Rusa
- España
- Suiza
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: Los molinos de energía fluida (a menudo denominados molinos de chorro) usan aire a alta presión o gas inerte para causar que las partículas choquen entre sí. Estos impactos fracturan el material en pedazos más pequeños hasta que se obtiene un tamaño mínimo de partícula. Las partículas por debajo del tamaño mínimo salen del molino mientras que las partículas más grandes continúan el proceso de molienda. El producto molido resultante tiene una distribución de tamaños ajustada con un tamaño de partícula típico inferior a 20 micras. Los tamaños de partícula en este rango no se obtienen fácilmente mediante procesos de molienda mecánica que tienen un límite de tamaño inferior de 44 micras (malla 325). Los molinos de energía fluida también son mucho más seguros para moler materiales explosivos como HMX y RDX.

Usos típicos relacionados con misiles: Las fábricas de energía fluida producen polvos AP, HMX o RDX de grano fino que se utilizan como oxidantes o modificadores de la velocidad de combustión para los propulsores de cohetes sólidos.

Otros usos: Los molinos de energía fluida también se utilizan en la industria alimentaria, farmacéutica, minera y de pigmentos de pintura.

Apariencia (como se fabrica): Los molinos de energía fluida son dispositivos extremadamente simples sin partes móviles. La mayoría son dispositivos planos y cilíndricos de acero inoxidable que miden de 7 cm a 10 cm de altura y de 7 cm a 40 cm de diámetro. Tienen un puerto de entrada y salida para la conexión de equipos auxiliares como tolvas de suministro de material, entradas de gas y ciclones de separación de productos que eliminan el producto molido de la corriente de gas.

Apariencia (como empaquetado): Los molinos de energía fluida (Imagen 54) generalmente se envían en cajas de madera con espuma o material de embalaje utilizado para protegerlos durante el envío. Las cajas no son distintivas.



Imagen 54: Ejemplos de varios molinos de energía fluida. (The Jet Pulverizer Company)

4.B.3.d. "Equipo de producción" de polvo metálico utilizable para la "producción", en un entorno controlado, de materiales esféricos o atomizados especificados en 4.C.2.c., 4.C.2.d. o 4.C.2.e.

Nota:

4.B.3.d. incluye:

- a. Generadores de plasma (chorro de arco de alta frecuencia) utilizable para la obtención de polvos metálicos esféricos o por deposición catódica (sputtered) con la organización del proceso en un ambiente de argón-agua;
- b. Equipo de electroexplosión (electroburst) utilizable para la obtención de polvos metálicos esféricos o por deposición catódica (sputtered) con la organización del proceso en un ambiente de argón-agua;
- c. Equipo utilizable para la "producción" de polvos esféricos de aluminio mediante el espolvoreado de un material fundido en un medio inerte (por ejemplo, nitrógeno).

Nota:

1. Las únicas mezcladoras por lotes, mezcladoras continuas, utilizables para propulsores sólidos o constituyentes de propulsores especificados en 4.C., y molinos de energía fluida especificados en 4.B., son los especificados en 4.B.3.
2. Formas de "equipo de producción" de polvo metálico no especificadas en 4.B.3.d. deben evaluarse de acuerdo con 4.B.2.

Método de operación: El enfoque más común para producir polvos metálicos finos para su uso como constituyentes en propulsores de misiles es el proceso de metal fundido que utiliza el equipo especificado en el subpárrafo c de la Nota al Artículo 4.B.3.d. de encima. Este proceso (también llamado atomización de gas) se adapta bien y puede usarse para producir grandes cantidades de metal en polvo de manera rentable. Tanto el generador de plasma como los métodos de electro-explosión son relativamente nuevos en la aplicación y no se usan ampliamente en los programas de producción. Actualmente se consideran procesos de laboratorio o de I+D, mientras que el proceso de metal fundido está completamente desarrollado para aplicaciones de producción a gran escala.

Usos típicos relacionados con misiles: El equipo de producción de polvo metálico atomizado y esférico se utiliza para producir polvos metálicos uniformes de grano fino que se utilizan como constituyente en el combustible sólido y líquido para cohetes. El polvo metálico se utiliza para mejorar las características de rendimiento del motor. Los metales en polvo son fundamentales en los modernos motores de propulsores sólidos compuestos.

Los polvos metálicos atomizados y esféricos en propulsante de misiles proporcionan un mayor empuje que resulta en un mayor alcance de misiles y capacidad de carga útil.

Otros usos: Los equipos de producción de polvo metálico atomizado y esférico pueden usarse para producir polvos metálicos para muchas aplicaciones comerciales, desde pigmentos en pinturas metálicas hasta materia prima para máquinas de fabricación aditiva.

Apariencia (como se fabrica): El equipo para producir polvo metálico esférico atomizado mediante el método descrito anteriormente se ensambla fácilmente a partir de equipos industriales comunes. El equipo incluye un horno para fundir el material, un conjunto de pulverizador/boquilla/crisol que inyecta el metal en el tanque, un gran tanque enfriador en el que se rocía el metal líquido, una bomba conectada al tanque para eliminar el aire; un sistema de llenado para el gas inerte (por ejemplo, tanques y una válvula), una unidad de separación de ciclones, un colector de polvo y un tanque de almacenamiento de producto.

Apariencia (como empaquetado): El equipo de producción para polvos metálicos atomizados no se envía como una sola unidad. En cambio, sus componentes se desmontan, empaquetan y envían como la mayoría de los equipos industriales. Las piezas más pequeñas se empaquetan o embalan y se aseguran a un palet. El tanque está en caja para protegerlo de abolladuras. Las toberas de pulverización se empaquetan por separado en cajas protegidas.

4.C. Materiales

4.C.1. Compuestos y propulsores de doble base modificados compuestos.

Naturaleza y propósito: Los propulsores compuestos son mezclas de oxidantes y sustancias combustibles separadas, ambos sólidos en partículas (por ejemplo, polvo o cristales), unidos por un material gomoso denominado aglutinante (Imagen 55). Proporcionan un propulsante sólido químicamente estable, estructuralmente robusto, almacenable y de alto rendimiento para motores de cohetes. Los propulsores de doble base modificados compuestos (CMDDB) pueden ser propulsores compuestos con algunos ingredientes de doble base o propulsores de doble base con algunos ingredientes compuestos. El término CMDDB también puede referirse a propulsores compuestos en los que el aglutinante es un material de doble base altamente energético. Las sustancias de base doble tienen esencialmente combustible y oxidante en diferentes partes de la misma molécula, como la nitrocelulosa y la nitroglicerina.



Imagen 55: Propulsores compuestos fabricados para su uso en motores de cohetes. (Industrias Químicas Daicel, Ltd)

Método de operación: Los aglutinantes, combustibles y oxidantes seleccionados se mezclan en proporciones particulares y se funden (vierten y luego solidifican) directamente en las carcasas del motor del cohete o en un molde para su posterior inserción en una carcasa (cartucho cargado). Para cualquiera de los métodos, el bloque cilíndrico de propulsante sólido se denomina grano propulsante. Dentro de un motor de cohete sólido, el grano generalmente tiene un área abierta central donde tiene lugar la combustión. Alternativamente, hay granos de combustión final. Cuando se enciende, el grano propulsante se quema en su área de superficie expuesta (solo interna o final), mientras que el exterior del grano se adhiere a la carcasa para evitar la combustión en su superficie exterior.

- | | |
|-------------------|----------------------|
| • Argentina | • Brasil |
| • Canadá | • China |
| • Francia | • Alemania |
| • India | • Israel |
| • Italia | • Japón |
| • Corea del Norte | • Noruega |
| • Pakistán | • República de Corea |
| • Federación Rusa | • España |
| • Suecia | • Suiza |
| • Taiwán | • Reino Unido |
| • Estados Unidos | |

Producción global



El resultado es una producción constante de gases de escape a alta presión y alta temperatura que escapan a velocidades extremadamente altas para proporcionar empuje. Una vez encendido, el propulsante sólido no se puede estrangular o extinguir fácilmente porque se quema sin aire y a temperaturas muy altas.

Usos típicos relacionados con misiles: Los propulsores de doble base compuestos y compuestos modificados se utilizan para proporcionar la energía propulsante para muchos sistemas de cohetes, incluidas las etapas para misiles balísticos y vehículos de lanzamiento espacial, y para motores de refuerzo para el lanzamiento de misiles de crucero y otros vehículos aéreos no tripulados (UAV).

Otros usos: En menor escala, los propulsores sólidos también se usan en misiles tácticos y, a veces, en satélites y naves espaciales. La elevación de la órbita desde la órbita de transferencia geosíncrona (GTO) a la órbita terrestre geostacionaria (GEO) a veces se ha logrado con unpropulsante sólido usando "motores de

apogeo". Las aplicaciones espaciales también han incluido el aterrizaje lunar no tripulado (Surveyor alrededor de 1965) y la inserción de la órbita en Venus (Magellan 1989).

Apariencia (como se fabrica): Por lo general, el propulsante sólido se moldea en los granos poco después de la mezcla, por lo que la apariencia fabricada es un grano solo o un grano dentro de una carcasa de motor de cohete cilíndrico, este último generalmente tiene una tobera cónica en un extremo para hacer un motor de cohete sólido completo. Considerando solo el grano, los propulsores de doble base compuestos y compuestos son materiales duros y gomosos que se asemejan a los neumáticos de automóviles en textura y apariencia (Imagen 56). Ingredientes como el aluminio u otro polvo metálico proporcionan un color gris oscuro; sin embargo, otros aditivos, incluidos para controlar las propiedades balísticas y mecánicas, así como para garantizar la estabilidad química, pueden hacer que el color varíe (de rojo a verde a marrón a negro).

Apariencia (como empaquetado): Una vez que los componentes de los propulsores se mezclan, se vierten directamente en la carcasa del motor (en sí misma, la pared exterior de una etapa de misiles) y se solidifican en una sola pieza de material para formar un grano completo dentro del motor. Por lo tanto, estos propulsores se envían solo como el componente interno principal en un motor de cohete cargado y generalmente no se encuentran por separado de una carcasa del motor. Las excepciones son los sistemas cargados con cartuchos que caben un cartucho de propulsante en una carcasa de motor, generalmente solo para motores pequeños.



Imagen 56: Una muestra de propulsante de motor de cohete de doble base. (Bayern-Chemie GmbH)

Los motores de cohetes de propulsante sólido para su uso en naves espaciales necesitan maximizar la cantidad de propulsores en relación con la masa de la carcasa. Por lo tanto, tales motores de cohetes de propulsante sólido tienen una forma casi esférica en lugar de cilíndrica porque la aerodinámica no es una preocupación en el espacio (no tiene la ventaja de ser larga y estrecha).

Información adicional El componente de combustible más utilizado de los propulsores compuestos es el polvo de aluminio, que tiene un mejor rendimiento y una mayor facilidad de uso que otros polvos metálicos que se pueden usar. El componente oxidante de elección es el perclorato de amonio (AP); otros oxidantes son los percloratos metálicos que no son de aluminio, el nitrato de amonio (AN) y la dinitramida de amonio (ADN).

El uso de percloratos metálicos o AN disminuye enormemente el rendimiento y, por lo tanto, solo tiene un uso limitado en propulsores especializados. La ADN es un oxidante más reciente que el AP, con mejor rendimiento que el AP, pero tiene disponibilidad limitada y es más difícil trabajar con ella. Los altos explosivos HMX y RDX se pueden usar como un complemento del AP para aumentar el rendimiento del propulsante. El aglutinante utilizado en los propulsores compuestos es normalmente un caucho sintético; el mejor es el polibutadieno terminado con hidroxilo (HTPB). Otros aglutinantes son polibutadieno terminado en carboxilo (CTPB), polímero de ácido acrílico de polibutadieno (PBAA) o terpolímero de acrilonitrilo de ácido acrílico de polibutadieno (PBAN). Los poliésteres y poliésteres elastoméricos como el polipropilenglicol también pueden usarse como aglutinantes. El propulsante de doble base modificado también utiliza nitrocelulosa plastificada con nitroglicerina u otros ésteres de nitrato como sistema aglutinante.

4.C.2. Sustancias de combustible de la siguiente manera:

- a. Hidrazina (CAS 302-01-2) con una concentración de más del 70 %;
- b. Derivados de hidrazina como sigue:
 1. Monometilhidrazina (MMH) (CAS 60-34-4);
 2. Dimetilhidrazina asimétrica (UDMH) (CAS 57-14-7);
 3. Mononitrato de hidrazina (CAS 13464-97-6);
 4. Trimetilhidrazina (CAS 1741-01-1);
 5. Tetrametilhidrazina (CAS 6415-12-9);
 6. N,N dialilhidrazina (CAS 5164-11-4);
 7. Alilhidrazina (CAS 7422-78-8);
 8. Etilendihidrazina (CAS 6068-98-0);
 9. Dinitrato de monometilhidrazina;
 10. Nitrato de dimetilhidrazina asimétrico;
 11. Azida de hidrazinio (CAS 14546-44-2);
 12. 1,1-dimetilhidrazinio azida (CAS 227955-52-4)/1,2-dimetilhidrazinio azida (CAS 299177-50-7);
 13. Dinitrato de hidrazinio (CAS 13464-98-7);
 14. Dihidrazida del ácido diimido-oxálico (CAS 3457-37-2);
 15. Nitrato de 2-hidroxiethylhidrazina (HEHN);
 16. Perclorato de hidrazinio (CAS 27978-54-7);
 17. Diperclorato de hidrazinio (CAS 13812-39-0);
 18. Nitrato de metilhidrazina (MHN) (CAS 29674-96-2);
 19. 1.1-nitrato de dietilhidrazina (DEHN) / Nitrato de 1,2-dietilhidrazina (DEHN) (CAS 363453-17-2);
 20. Nitrato de 3,6-dihidrazino tetrazina (DHTN);

Nota técnica:

El nitrato de 3,6-dihidrazino tetrazina también se conoce como nitrato de 1,4-dihidrazina.

Naturaleza y propósito: La hidrazina, la MMH y la UDMH son combustibles líquidos para cohetes. Se utilizan en una amplia variedad de motores de cohete de propulsión líquida que requieren alto rendimiento y largos tiempos de almacenamiento. Los tres se conocen como "almacenables" porque permanecen líquidos a temperatura ambiente y presión atmosférica (a diferencia del combustible de hidrógeno líquido, por ejemplo). La hidrazina se usa ampliamente como monopropulsante (sin oxidante) descomponiéndola en gases calientes (hidrógeno, nitrógeno y amoníaco) con un catalizador. La hidrazina se ha mezclado con combustibles de MMH o UDMH para mejorar el rendimiento.

Método de operación: La familia de combustibles de hidrazina es hipergólica (autoinflamable) al contacto con diversos oxidantes como el tetróxido de nitrógeno, ácido nítrico, cloro o flúor. Cuando se usa en un sistema bipropulsante, la hidrazina libera aproximadamente la mitad de su energía al descomponerse en un gas caliente y la otra mitad quemando el hidrógeno resultante con un oxidante.

- Brasil
- China
- Francia
- Alemania
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción global



Usos típicos relacionados con misiles: La hidrazina simple (N_2H_4) a veces se denomina "hidrazina pura" para distinguirla de la MMH, UDMH, mezclas y diluciones de agua. Aunque la hidrazina pura se puede quemar con un oxidante, la combustión segura es más difícil que con la MMH, por ejemplo. Si bien la hidrazina tiene un mayor rendimiento energético que la MMH y la UDMH, se congela más fácilmente que el agua. La MMH y la UDMH son combustibles de misiles preferidos debido a una mejor estabilidad de la combustión y porque permanecen líquidos en un rango de temperatura mucho más amplio, por ejemplo, menos $50\text{ }^\circ\text{C}$ a más $70\text{ }^\circ\text{C}$. La inclusión de hidrazina en mezclas mejora el rendimiento energético sin sacrificar el rango de temperatura de almacenamiento. Otras sustancias enumeradas en el MTCR 4.C.2.b. También se puede utilizar en mezclas de combustible por varias razones.

La hidrazina, la MMH y la UDMH se usan ampliamente en combinación con el tetróxido de nitrógeno (N_2O_4 o "NTO") en los motores de cohetes bipropulsantes. Una consideración práctica es que la relación deseada para la MMH y el NTO permite que se usen tanques del mismo tamaño para el combustible y el oxidante.

Las reacciones de las hidrazinas metiladas y otras aliladas con N_2O_4 en condiciones ideales deberían producir CO_2 , N_2 y H_2O . Sin embargo, la combustión completa rara vez, si alguna vez, se logra en los arranques reales del motor. Por una variedad de razones que incluyen la sincronización de la válvula y el contacto imperfecto entre el combustible y los aerosoles del inyector de oxidante, la combustión es menos completa durante la operación en modo de impulso (encendido/apagado) de los motores de cohetes bipropulsantes, como es necesario para una maniobra precisa. También durante la operación en modo de impulso, las temperaturas medias de la cámara de combustión son más bajas, lo que también contribuye a una combustión incompleta.

Otros usos: La hidrazina es el propulsante actual y más común para pequeños propulsantes catalíticos monopropulsantes para el control de actitud de naves espaciales y maniobras de satélites menores. Grandes cambios de velocidad para satélites usan oxidante junto con MMH, UDMH o una mezcla de combustible de hidrazina. La hidrazina también se usa en el recubrimiento electrolítico de metales sobre vidrio y plásticos, productos farmacéuticos, celdas de combustible, colorantes, productos químicos fotográficos y productos químicos agrícolas, y como catalizador de polimerización e inhibidor de corrosión en el agua de alimentación de la caldera (tratamiento de agua) y agua de enfriamiento del reactor. La MMH se utiliza en unidades de energía de emergencia de aviones.

Apariencia (como se fabrica): La hidrazina es un líquido transparente con un punto de congelación ligeramente superior al del agua, a aproximadamente 2 °C, y un punto de ebullición normal de 114 °C. Su densidad es ligeramente mayor que la del agua, a 1,003 g/cc. Es irritante para la piel, los ojos y los pulmones y es altamente tóxica cuando se ingiere. La MMH es un líquido transparente con un punto de congelación de -52 °C y un punto de ebullición normal de 88 °C. Estas características lo convierten en un combustible atractivo para misiles militares tácticos. Tiene una densidad más baja de 0,87 g/cc y también es altamente tóxico. El UDMH, igualmente tóxico, es un líquido transparente con un punto de congelación de -57 °C y un punto de ebullición normal de 62 °C. Su densidad es de 0,78 g/cc.



Imagen 57: contenedores de 34 galones de hidrazina anhidra de acero inoxidable serie 300. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

Apariencia (como empaquetado): La hidrazina anhidra (agua eliminada), la MMH y la UDMH son clasificados como líquidos inflamables y venenos. Los productos de hidrazina se pueden almacenar y enviar en barriles o tanques de aluminio, acero inoxidable de la serie 300 y aleaciones de titanio. Las compras pequeñas generalmente se empaquetan en tambores portátiles, mientras que los pedidos más grandes se envían en vagones cisterna. Los contenedores de combustible de la familia de las hidrazinas tienen todo el aire reemplazado por un gas inerte como el nitrógeno para evitar la contaminación y retardar la oxidación. Si están debidamente etiquetados (Imagen 57), los contenedores deben especificar "inflamables" y tener información numérica, como las designaciones de las Naciones Unidas para envíos internacionales peligrosos. Ejemplos de estos últimos números son UN 2029, UN 1244 y UN 1163, respectivamente, para hidrazina anhidra, MMH y UDMH. También hay un sistema de números de registro del Chemical Abstracts Service (CAS).

4.C.2.c. Polvo esférico o esferoidal de aluminio (CAS 7429-90-5) con partículas de tamaño inferior a 200×10^{-6} m (200 μ m) y un contenido en peso de aluminio del 97 % o más, si al menos el 10 % del peso total está constituido por partículas inferiores a 63 μ m, de acuerdo con la norma ISO 25911:1988 o las normas nacionales equivalentes;

Nota técnica:

Un tamaño de partícula de 63 μ m (ISO R-565) corresponde a una trama 250 (Tyler) o una trama 230 (norma ASTM E-11).

4.C.2.d. Polvos metálicos de cualquiera de los siguientes: circonio (CAS 7440-67-7), berilio (CAS 7440-41-7), magnesio (CAS 7439-95-4) o aleaciones de estos, si al menos el 90 % del total de partículas por volumen o peso de partícula se componen de partículas de menos de 60 μ m (determinado mediante técnicas de medición como la utilización de un tamiz, la difracción de haz láser o la lectura óptica), ya sean esféricas, atomizadas, esferoidales, en escamas o molidas, que contengan el 97 % en peso o más de cualquiera de los metales mencionados anteriormente;

Nota:

En una distribución de partículas multimodal (por ejemplo, mezclas de diferentes tamaños de grano) en la que se controlan uno o más modos, se controla toda la mezcla de polvo.

Nota técnica:

El contenido natural de hafnio (CAS 7440-58-6) en el circonio (típicamente del 2 % al 7 %) se cuenta con el circonio.

4.C.2.e. Polvo metálico de boro o aleaciones de boro con un contenido de boro no inferior al 85 % en peso, si al menos el 90 % del total de partículas por volumen o peso de partícula se componen de partículas de menos de 60 μ m (determinado mediante técnicas de medición como la utilización de un tamiz, la difracción de haz láser o la lectura óptica), ya sean esféricas, atomizadas, esferoidales, en copos o molidas;

Nota:

En una distribución de partículas multimodal (por ejemplo, mezclas de diferentes tamaños de grano) en la que se controlan uno o más modos, se controla toda la mezcla de polvo.

4.C.2.f. Materiales de alta densidad de energía, utilizables en los sistemas especificados en 1.A. o 19.A., como sigue:

1. Combustibles mixtos que incorporan tanto combustibles sólidos como líquidos, como la suspensión de boro, que tienen una densidad de energía basada en masa de 40×10^6 J/kg o mayor;
2. Otros combustibles y aditivos para combustibles de alta densidad energética (p. ej., cubano, soluciones iónicas, JP-10), con una densidad de energía por volumen igual o superior a $37,5 \times 10^9$ Julios/m³, medida a 20 °C y a la presión de una atmósfera (101,325 kPa).

Nota:

Artículo 4.C.2.f.2. no somete a control los combustibles fósiles refinados ni los biocombustibles producidos a partir de plantas, incluidos los combustibles para motores certificados para uso en aviación civil, a menos que estén especialmente formulados para los 'misiles' o vehículos aéreos no tripulados especificados en 1.A. o 19.A.

- Brasil
- China
- India
- Japón
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos
- Canadá
- Francia
- Irán
- Pakistán

Producción global



Naturaleza y propósito: Los metales aluminio, berilio, boro, magnesio y circonio son buenos combustibles en partículas de menos de 60×10^{-6} m ($60 \mu\text{m}$). Se utilizan como combustible constituyente para mejorar el rendimiento del propulsante de cohetes sólidos y líquidos. Por ejemplo, el polvo de aluminio como aditivo de combustible constituye del 5 % al 21 % en peso de propulsante sólido. La combustión del combustible de aluminio aumenta la temperatura de la llama del propulsante hasta en $800 \text{ }^\circ\text{K}$ y aumenta el impulso específico hasta en un 10%.

Método de operación: El polvo metálico se agrega al grano propulsante sólido durante la producción del motor del cohete o al combustible líquido del cohete para formar una suspensión. Debido a que la relación superficie-volumen de tales partículas metálicas pequeñas es muy alta, el oxidante envuelve y quema

rápidamente cada partícula metálica, liberando así una alta energía por peso a muy alta temperatura. También hay combustibles de alta densidad energética y aditivos de combustible formulados para usos de misiles que no usan polvos metálicos.

Usos típicos relacionados con misiles: El polvo de aluminio es relativamente económico y se usa ampliamente como componente de combustible en motores de cohetes de propulsante sólido y líquido para aumentar el impulso específico del propulsante y ayudar a estabilizar la combustión. También se pueden usar combustibles metálicos de berilio, boro, magnesio y circonio, pero en la práctica tienen pocos usos relacionados con misiles militares. En general, son caros, peligrosos de manejar y difíciles de controlar. Los motores de berilio se han desarrollado solo como etapas superiores porque algunos de sus productos de escape son tóxicos.

Algunos combustibles de alta densidad energética están formulados específicamente para aplicaciones de misiles, como Jet Propellant 10 (JP-10) para uso en misiles de crucero de volumen limitado y ciertas formulaciones de queroseno para uso como combustible de cohete. Se pueden usar otros materiales de alta densidad de energía, como cubane o quadracyclane, como aditivo de combustible para ganar más segundos de impulso específico para los sistemas de cohetes y propulsores existentes, pero son difíciles de sintetizar y costosos de producir en cantidad.

Otros usos: El polvo de aluminio se usa como ingrediente principal en la pintura en aerosol de aluminio. El polvo de aluminio esférico se usa como catalizador y como componente en revestimientos para cubiertas de turbinas, en materiales de construcción como hormigón celular y como materia prima. Si están debidamente etiquetados (Imagen 57), los contenedores deben especificar "inflamables" y tener información numérica, como las designaciones de las Naciones Unidas para envíos internacionales peligrosos. El boro a veces se usa en la lechada de combustible para cohetes canalizados y estatorreactores de combustible sólido para misiles tácticos. El circonio se ha utilizado en algunos propulsores compuestos de alta densidad para aplicaciones tácticas de volumen limitado. Tanto el boro como el circonio se usan en compuestos de ignición para iniciadores.

Apariencia (como se fabrica): El polvo de aluminio es un polvo de plata gris o mate. El tamaño de partícula de la mayoría del polvo de aluminio de grado propulsante varía de 3 a 100 micras, aunque se han utilizado tamaños más grandes. La forma de la partícula es más o menos esférica. El berilio, el magnesio y el circonio también son polvos de plata gris o mate. El boro es un polvo marrón oscuro. La apariencia de la suspensión de boro depende del líquido a lo que se agrega y el tamaño de partícula de boro; por lo general, el color es marrón oscuro o negro.

Por ejemplo, el boro mezclado con dicitlopentadieno es un posible combustible del estatorreactor y forma una lechada de color marrón chocolate con la consistencia de la miel. Los combustibles de misiles, como Rocket Propellant 1 (RP-1) y JP-10, son similares en apariencia a los combustibles de aviación que son claros para líquidos de color ámbar.

Apariencia (como empaquetado): El polvo de aluminio generalmente se empaqueta y se envía en tambores de acero con una capacidad de 30 galones o menos. El polvo de aluminio en un tambor de 30 galones pesa aproximadamente 180 kg. Los otros metales, aunque es mucho menos probable que se encuentren, se empaquetan de manera similar. Los combustibles de misiles, como JP-10 y RP-1, pueden empaquetarse y enviarse en bidones de 55 galones. Dadas las grandes cantidades de RP-1 utilizadas en los sistemas de cohetes, también puede transportarse en grandes camiones cisterna de 7000 galones de capacidad.

Información adicional: El aluminio tiene una densidad de 2,7 g/cc, pero su densidad aparente es algo menor, dependiendo del tamaño de partícula. El berilio y sus productos de combustión son muy tóxicos. El boro es difícil de encender. El circonio es muy peligroso de manejar en forma de polvo fino porque se enciende espontáneamente en el aire; por lo tanto, generalmente se envía en agua.

4.C.2.g. Combustibles de reemplazo de hidrazina de la siguiente forma:

1. 2-dimetilaminoetilazida (DMAZ) (CAS 86147-04-8).

Naturaleza y propósito: Dado el uso generalizado de la hidrazina y sus derivados, los riesgos para la salud de estos combustibles han motivado mucha investigación hacia los propulsores que tienen un rendimiento energético y propiedades físicas similares, a la vez que son menos peligrosos para las personas tras la exposición (inhalación de vapor o contacto con la piel).

Para la propulsión de cohetes bipropulsantes, la 2-dimetilaminoetilazida (DMAZ) ha atraído mucha atención como un posible reemplazo para la monometilhidrazina (MMH) y la dimetilhidrazina asimétrica (UDMH). La MAZ tiene una densidad muy cercana a la del agua, junto con un bajo punto de congelación (menos 69 °C) y un alto punto de ebullición (135 °C).

Se han estudiado otras sustancias como reemplazos no tóxicos para la hidrazina pura, para la propulsión monopropulsante. Un tipo de alternativa consiste en materiales energéticos sólidos disueltos en agua. Un ejemplo de esto último es el nitrato de hidroxilamonio (HAN), que ha sido objeto de mucha experimentación, pero no está controlado por el Artículo 4.C.2.g.

Método de operación: La DMAZ se usaría de forma muy parecida a la MMH y la UDMH. La DMAZ se combinaría en un sistema de propulsión líquida con un oxidante almacenable como NTO o IRFNA (ver MTCR, Artículo 4.C.4.).

Usos típicos relacionados con misiles: Los usos relacionados con los misiles para la DMAZ serían esencialmente los mismos que para la MMH o la UDMH (MTCR Artículo 4.C.2.b.).

Otros usos: N/C.

Apariencia (como se fabrica): La DMAZ es un líquido incoloro.

Apariencia (como empaquetado): La DMAZ se empaquetaría en tambores y se etiquetaría como un líquido combustible.

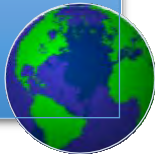
4.C.3. Oxidantes/combustibles de la siguiente manera:
Percloratos, cloratos o cromatos mezclados con metales en polvo u otros componentes de combustible de alta energía;

Naturaleza y propósito: Los percloratos, los cloratos y los cromatos mezclados con componentes de combustible de cualquier tipo (por ejemplo, metales en polvo) son extremadamente inestables y tienen el potencial de encenderse o explotar. El AP, el oxidante de elección para la mayoría de las aplicaciones de propulsores sólidos, rara vez se envía

en grandes cantidades mezcladas con un componente de combustible debido al peligro de combustión asociado. Sin embargo, estas mezclas se envían en componentes como encendedores o en paquetes pequeños (aproximadamente 3 kg).

- No hay proveedores conocidos de estas mezclas debido al peligro extremo de incendio; sin embargo, muchos países pueden crear y enviar tales mezclas.

Producción global



Método de operación: El oxígeno en los percloratos, cloratos y cromatos se libera durante la combustión, por lo que está disponible para quemar el combustible de alta energía en la mezcla propulsores. Debido a que el oxígeno se distribuye uniformemente por toda la mezcla, se quema muy rápidamente sin aire y no se puede extinguir una vez encendido.

Usos típicos relacionados con misiles: El AP mezclado con aluminio en polvo se usa habitualmente en motores de cohetes sólidos. Otro

Las mezclas de oxidantes y combustibles se usan generalmente en dispositivos de ignición o de retardo de misiles y rara vez se usan para otros fines en misiles.

Otros usos: Cuando se mezclan con metales en polvo, los percloratos, los cloratos o los cromatos tienen uso comercial en bengalas y dispositivos incendiarios.

Apariencia (como se fabrica): El color de estos materiales varía con el oxidante y el combustible utilizado. Existen numerosas combinaciones, pero las más probables (AP y polvo de aluminio) son materiales de color gris claro con una textura muy fina.

Apariencia (como empaquetado): Los percloratos, los cloratos o los cromatos, cuando se mezclan con metales en polvo, representan un riesgo extremo de incendio o explosión y es muy poco probable que se envíen en tales mezclas. Por el contrario, se envían por separado de los metales en polvo u otros componentes de combustible de alta energía y luego se mezclan antes de fundirlos en una etapa del motor.

4.C.4. Sustancias oxidantes como sigue:

a. Sustancias oxidantes utilizables en motores de cohete propulsante líquido de la siguiente manera:

1. Trióxido de dinitrógeno (CAS 10544-73-7);
2. Dióxido de nitrógeno (CAS 10102-44-0) / tetróxido de dinitrógeno (CAS 10544 -72 -6);
3. Pentóxido de dinitrógeno (CAS 10102-03-1);
4. Óxidos mixtos de nitrógeno (MON);
5. Ácido nítrico fumante inhibido rojo (IRFNA) (CAS 8007-58-7);
6. Compuestos de flúor y uno o más de otros halógenos, oxígeno o nitrógeno;

Nota:

Artículo 4.C.4.a.6. no controla el trifluoruro de nitrógeno (NF₃) (CAS 7783-54-2) en estado gaseoso ya que no es utilizable para aplicaciones de misiles.

Nota técnica:

*Los óxidos mixtos de nitrógeno (MON) son soluciones de óxido nítrico (NO) en tetróxido de dinitrógeno/dióxido de nitrógeno (N₂O₄/ NO₂) que se pueden usar en sistemas de misiles. Existen diversas composiciones que pueden designarse como MON_i o MON_{ij}, siendo *i* y *j* números enteros que representan el porcentaje de óxido nítrico presente en la mezcla (p.ej. el MON₃ contiene un 3 % de óxido nítrico, el MON₂₅ contiene un 25 % de óxido nítrico. El límite máximo es MON₄₀, el 40 % en peso).*

Naturaleza y propósito: Los oxidantes proporcionan oxígeno o halógeno para quemar el combustible en cualquier motor o motor de cohete. Al transportar el combustible y el oxidante juntos, un misil no depende de la atmósfera para obtener oxígeno y, por lo tanto, puede operar en el espacio. Además, el flujo del oxidante a un motor de misiles tiende a ser mucho mayor que la tasa de captura de oxígeno atmosférico que podría lograr una entrada de aire.

Método de operación: En los motores de cohete de propulsante líquido, el oxidante y el combustible se alimentan desde tanques separados y luego se inyectan en la cámara de combustión a gran presión, se mezclan y se encienden. En cualquier caso, el calor hace que los átomos de oxígeno o halógeno se disocien de las moléculas oxidantes suministradas y estén más disponibles para quemar el combustible. Algunos propulsores líquidos son hipergólicos, lo que significa que reaccionan espontáneamente al contacto. Los gases calientes resultantes se aceleran a través de una tobera de cohete para producir empuje.

Las sustancias oxidantes enumeradas en el punto 4.C.4.a del MTCR son muy reactivas e hipergólicas con los combustibles con los que generalmente se combinan (típicamente hidrazina y combustibles relacionados). La combustión hipergólica permite que los motores de cohete se enciendan y apaguen de manera muy confiable simplemente controlando las válvulas, sin necesidad de una fuente de ignición separada dentro de la cámara de combustión. La ausencia de un iniciador separado permite que los motores de cohetes líquidos hipergólicos se hagan muy pequeños y grandes y no haya un límite particular para el número de reinicios. Por lo tanto, es posible realizar maniobras de precisión repetidas. Otra característica de los propulsores hipergólicos de uso común es que suelen ser líquidos a temperatura ambiente, a diferencia del oxígeno líquido, por ejemplo. Como resultado de la relativa conveniencia, estos propulsores se han denominado "propulsores almacenables en la tierra" o simplemente "almacenables". Una desventaja significativa de los almacenamientos hipergólicos es que son extremadamente tóxicos para los humanos y reaccionan o degradan la mayoría de los materiales que normalmente se usan para contenedores de almacenamiento de propulsores.

Usos típicos relacionados con misiles:

- Brasil
- Francia
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos
- Mundial (para ácidos nítricos)
- China
- Japón
- Solo la Federación de Rusia, Suecia y los Estados Unidos han producido ADN.

Producción global



El trióxido de dinitrógeno (N_2O_3) es un líquido negro a presión atmosférica normal que se descompone por encima de $3,5\text{ }^\circ\text{C}$ y se congela a $-102\text{ }^\circ\text{C}$. El N_2O_3 no se usa a menudo como propulsante de misiles.

El tetróxido de dinitrógeno (N_2O_4), también conocido como tetróxido de nitrógeno (NTO), es un dímero de dos moléculas de gas de dióxido de nitrógeno (NO_2). El NO_2 y el N_2O_4 forman un equilibrio, con una mayor disociación del NO_2 a temperaturas elevadas y presiones reducidas. Si bien las dos moléculas coexisten, el líquido generalmente se conoce como N_2O_4 o NTO. El N_2O_4 es un líquido a presión y temperatura atmosféricas normales (de menos $11\text{ }^\circ\text{C}$ a más $21\text{ }^\circ\text{C}$). Este estrecho rango de temperatura hace que el NTO sea poco práctico en sistemas que necesitan ser almacenados llenos de propulsores, tales como misiles móviles y tácticos. Sin embargo, se ha utilizado con éxito para vehículos de lanzamiento espacial (SLV) que se llenan poco antes del lanzamiento, y también para misiles mantenidos en entornos con temperatura controlada como silos (el Titán de los EE. UU. era a la vez un misil basado en silos y un SLV).

Para reducir la temperatura de congelación de NTO, el óxido nítrico (NO) a menudo se mezcla. El resultado se conoce como óxidos mixtos de nitrógeno (MON), representados por MON-i, donde i es un número para el porcentaje de NO. Si bien MON-3 se usa comúnmente, los motores de cohete han sido operados con MON-1, MON-10, MON-15 y MON-25. Estos propulsores son líquidos verdes con altas presiones de vapor y temperaturas de congelación más bajas que pueden permitir su uso final en misiles tácticos.

El pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5) no se usa normalmente como oxidante en los motores de cohetes líquidos porque es un sólido a la presión y temperatura atmosféricas normales.

El ácido nítrico fumante inhibido rojo (IRFNA) tiene una alta densidad y un bajo punto de congelación; es un oxidante de ácido nítrico comúnmente disponible preferido para misiles tácticos y algunos misiles balísticos. El ácido nítrico (HNO_3) se vende más ampliamente como una solución concentrada en agua, por ejemplo, 70 % de ácido nítrico (no es un propulsante). El agua se puede eliminar a favor del NO_2 , en cuyo caso el resultado se llama ácido nítrico fumante rojo (RNFA) porque parte del NO_2 entra fácilmente en la fase de vapor como un gas marrón rojizo. Se añaden sustancias adicionales para inhibir que el RFNA corra los tanques de propulsores y otras partes metálicas, por lo tanto, el IRFNA, a veces referido para mayor claridad como "ácido nítrico fumante inhibido rojo por corrosión".

El trifluoruro de cloro (ClF_3) y el cloril (per-) fluoruro (ClO_3F) son los dos oxidantes a base de halógeno más comunes. Debido a que son oxidantes muy tóxicos y energéticos, son difíciles de manejar. Por lo tanto, rara vez se utilizan, excepto para el desarrollo de tecnología. Se han desarrollado y probado otros oxidantes entre halógenos, pero no se usan debido a consideraciones de costo, manejo y seguridad.

Por ejemplo, el pentafluoruro de cloro (ClF_5) y el fluorox (ClF_3O) son difíciles de producir de manera segura y no están fácilmente disponibles. Originalmente se desarrollaron porque el flúor/hidrazina es una combinación propulsante de muy alto rendimiento, pero el flúor debe mantenerse por debajo de su punto de ebullición (-188°C) para evitar que hierva y, por lo tanto, no es práctico para usarlo como oxidante para misiles tácticos. Lo mismo aplica para el cloro. Es poco probable que se encuentren oxidantes a base de halógeno en misiles desplegados en todo el mundo.

Otros usos: El N_2O_4 y el MON-3 se usan comúnmente en satélites, naves espaciales científicas y en sistemas de maniobra orbital, generalmente con calentadores de resistencia eléctrica en las paredes del tanque para evitar el congelamiento. El dióxido de nitrógeno (NO_2) y N_2O_4 es el precursor de toda la producción de ácido nítrico y se utiliza como agente nitrante para productos químicos agrícolas, plásticos, papel y caucho. El N_2O_5 se usa para fabricar explosivos y es un agente nitrante en la química orgánica.

El ácido nítrico concentrado, el componente principal del IRFNA, se utiliza para fabricar productos farmacéuticos y explosivos.

El cloro y el flúor tienen muchos usos comerciales. El cloro se usa ampliamente para purificar el agua, desinfectar o blanquear materiales, y para fabricar muchos compuestos importantes, incluidos el cloroformo y el tetracloruro de carbono. ClF_3 se usa en el reprocesamiento de combustible nuclear, fabricación de semiconductores, y el ClO_3F se usa como dieléctrico gaseoso en transformadores.

Apariencia (como se fabrica) (las mediciones son a temperatura y presión estándar): El NO_2 es un gas rojo-marrón y el N_2O_4 a temperaturas ambiente típicas es un líquido rojo-marrón debido a su contenido de NO_2 en equilibrio. Dependiendo de la temperatura y la presión, NO_2 y N_2O_4 forman equilibrios en varios porcentajes. La densidad de N_2O_4 es 1,43 g/ml, y se congela a -11°C y hierve a $+21^\circ\text{C}$.

Los óxidos mixtos de líquidos de nitrógeno (MON) aparecen de color verde debido a la adición de óxido nítrico (NO) en el equilibrio de NO_2 y N_2O_4 . Sus puntos de congelación son más bajos que para N_2O_4 . La apariencia verde generalmente solo se ve a través de la cristalería, porque el color marrón rojizo del vapor de NO_2 domina la apariencia cuando se permite la evaporación (por ejemplo, desde un recipiente abierto a la atmósfera).

El ácido nítrico fumante rojo (RFNA) es ácido nítrico casi anhidro que se estabiliza con altas concentraciones de dióxido de nitrógeno agregado. Aproximadamente el 15 % de NO_2 se disuelve típicamente en el ácido, pero se puede agregar más para aumentar la densidad del líquido. El ácido nítrico de densidad máxima (MDNA) es 56 % de HNO_3 y 44 % de N_2O_4 . Debido a que el ácido nítrico es corrosivo para la mayoría de los materiales no nobles (materiales que reaccionan químicamente), se agrega una pequeña cantidad (aproximadamente 0,75 %) de ácido fluorhídrico (HF) como un inhibidor de corrosión para producir IRFNA. Cuando el IRFNA se almacena en contenedores de acero inoxidable o aluminio, el HF forma fluoruros protectores que reducen las tasas de corrosión de la pared. IRFNA se congela a aproximadamente -65°C y hierve a aproximadamente $+60^\circ\text{C}$. Su densidad a temperatura ambiente normal es de aproximadamente 1,55 g/ml, dependiendo de la cantidad de N_2O_4 añadido.

El flúor es un elemento halógeno de color amarillo pálido, altamente corrosivo, venenoso, gaseoso. Suele considerarse el más reactivo de todos los elementos. Su punto de congelación es -220°C , y su punto de ebullición es -188°C , lo que lo convierte en un líquido criogénico. Su gravedad específica en estado líquido es 1,108 g/ml en su punto de ebullición.

El cloro es un gas amarillo verdoso que es muy irritante y capaz de combinarse con casi todos los demás.

Elementos Se produce principalmente por electrólisis de cloruro de sodio. Su punto de congelación es $-101\text{ }^{\circ}\text{C}$; su punto de ebullición es $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$; y su gravedad específica es $1,56\text{ g/ml}$ (a $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$).

El pentafluoruro de cloro (ClF_5), que hierve a $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una presión atmosférica, debe presurizarse para mantener la forma líquida a temperaturas ambiente típicas. Tiene una alta densidad de $1,78\text{ g/ml}$ a $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debido a que el trifluoruro de cloro (ClF_3) hierve a $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$, es más fácil de manejar que el ClF_5 , pero aún debe estar presurizado para el envío. El pentafluoruro de bromo (BrF_5) hierve a $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero otras características como la sensibilidad a los golpes, la toxicidad, la corrosividad y el potencial de impulso específico más bajo lo convierten en un propulsante poco práctico.

El trifluoruro de nitrógeno (NF_3) es un oxidante criogénico que hierve a $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ y tiene una densidad de $1,55\text{ g/ml}$ en su punto de ebullición normal. El tetrafluoruro de nitrógeno (N_2F_4) tiene una mayor densidad y punto de ebullición, pero también es criogénico.

Apariencia (como empaquetado): El ácido nítrico, el NTO y el MON generalmente se almacenan en tanques de acero inoxidable especialmente preparados. Los tanques y líneas de aluminio también pueden ser compatibles. Los paquetes para el envío de estos productos químicos usan palabras de identificación, advertencias, etiquetas y símbolos. El NTO y el MON deben enviarse en contenedores que mantengan la presión, debido a las altas presiones de vapor asociadas con puntos de ebullición relativamente bajos.

El IRFNA generalmente se almacena y se envía en tanques de aluminio que se han preparado especialmente. Los tanques y líneas de acero inoxidable también son compatibles.

Si están debidamente etiquetados, los contenedores deben especificar "oxidante" y tener información numérica, como las designaciones de las Naciones Unidas para envíos peligrosos internacionales. Ejemplos de estos últimos números son UN 1067 y UN 2032, respectivamente, para NTO o MON, y para RFNA o IRFNA. También hay un sistema de números del CAS, por ejemplo, 10102-44-0 se refiere tanto a NO_2 como a N_2O_4 .

Los propulsores exóticos como el cloro y el flúor son líquidos criogénicos y son extremadamente reactivos y tóxicos. En consecuencia, su envío y manejo están estrictamente regulados. Los contenedores de metal ordinarios no se pueden usar para contenerlos. Se requieren tanques súper enfriados y presurizados para enviar en forma líquida. El difluoruro de oxígeno (OF_2) se puede almacenar a bajas temperaturas en tanques de acero inoxidable revestidos de vidrio que se han preparado especialmente.

4.C.4.b. b. Sustancias oxidantes utilizables en motores para cohete de propulsante líquido según se indica:

1. Perclorato de amonio (AP) (CAS 7790-98-9);
2. Dinitramida de amonio (ADN) (CAS 140456-78-6);
3. Nitro-aminas (ciclotetrametileno - tetranitramina (HMX) (CAS 2691-41-0); ciclotrimetileno - trinitramina (RDX) (CAS 121-82-4);
4. Nitroformiato de hidrazinio (HNF) (CAS 20773-28-8);
5. 2,4,6,8,10,12-Hexanitrohexaazaisowurtzitane (CL-20) (CAS 135285-90-4).

- | | |
|---------------|-------------------------|
| •Bélgica | •China |
| •Dinamarca | •Francia |
| •Finlandia | •Alemania |
| •India | •Países Bajos |
| •Noruega | •Federación Rusa |
| •España | •Suiza |
| •Ucrania | •Emiratos Árabes Unidos |
| •Reino Unido | •Estados Unidos |
| •HNF | |
| •Países Bajos | •Estados |

Producción global



Naturaleza y propósito: Los oxidantes sólidos proporcionan el oxígeno necesario para quemar combustible sólido para motores de cohetes. Al transportar combustible y oxidante juntos, el cohete no depende de la atmósfera para obtener oxígeno. Las nitro-aminas no son oxidantes per se; son altos explosivos añadidos a los propulsores para aumentar su rendimiento.

Método de operación: El oxidante sólido se mezcla uniformemente con combustibles y se vierte en un motor de cohete. El oxígeno se disocia durante el proceso de combustión y está disponible para quemar rápidamente el combustible disponible y, al generar gases agotados a velocidades muy altas, produce empuje.

Usos típicos relacionados con misiles: El AP es un agente oxidante utilizado por la mayoría de las fórmulas modernas de propulsores sólidos. Dependiendo de la formulación, representa del 50 % al 85 % del propulsante en peso.

La ADN es un agente oxidante para propulsante sólido. Este material se usa de manera similar al AP.

HMX, a veces llamado Octogen, y RDX, a veces llamado Cyclonite, son explosivos de alta energía que a menudo se agregan a los propulsores sólidos para reducir la temperatura de combustión y reducir el humo. Por lo general, menos del 30 % del peso del propulsante es HMX o RDX.

El HNF es un oxidante energético utilizado para propulsores de cohetes sólidos. Su combustión es muy eficiente y, cuando se combina con ligantes modernos, tiene un impacto ecológico muy pequeño, ya que no contiene cloro. El 2,4,6,8,10,12- Hexanitrohexaazaisowurtzitane es aproximadamente un 20 % más potente que el HMX.

Otros usos: El AP se utiliza en explosivos, pirotecnia y química analítica, y como agente de grabado. La ADN no tiene usos comerciales conocidos. El HMX y el RDX se utilizan en ojivas, explosivos militares y civiles y cortadores de tuberías de pozos de petróleo. El HNF no tiene usos comerciales conocidos fuera del aeroespacial/propulsante de cohetes.

Apariencia (como se fabrica): El AP es un sólido cristalino blanco o, dependiendo de la pureza, blanquecino, similar en apariencia a la sal de mesa común. La ADN es un sólido blanco, ceroso y cristalino que puede aparecer como plaquetas delgadas o pequeñas píldoras redondas. El HMX y el RDX son materiales cristalinos blancos que se parecen a la sal de mesa muy fina. El HNF es un material cristalino amarillo que se asemeja a agujas largas, aunque el desarrollo posterior ha producido una forma granular. El 2,4,6,8,10,12-hexanitrohexaazaisowurtzitano son materiales cristalinos.

Apariencia (como empaquetado): El AP generalmente se empaqueta y se envía en tambores revestidos de polietileno de 30 o 55 galones con oxidante o marcas de símbolos explosivos. En la Imagen 58 se muestran dos tipos diferentes de contenedores de AP y sus marcas. La ADN está empaquetado y enviado de manera similar al AP. El HMX y el RDX generalmente se empaquetan y envían en agua o alcohol (porque en forma seca son propensos a explotar) en tambores revestidos de polietileno de 30 o 55 galones con oxidante o marcas de símbolos explosivos.

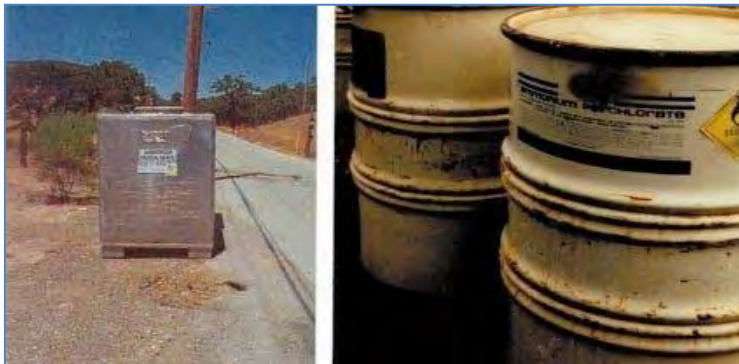


Imagen 58: Dos contenedores de envío de perclorato de amonio diferentes. (The Charles Stark Draper Laboratories & Kerr McGee)

Información adicional: El AP generalmente se produce con un tamaño de partícula promedio de 200 a 400 micras (malla de 70 a 40). La densidad del AP es de 1,95 g/cc, pero la densidad aparente es menor y varía con el tamaño de partícula. El AP se descompone violentamente antes de derretirse. La fórmula química del AP es NH_4ClO_4 . La ADN tiene una densidad de 1,75 g/cc y un punto de fusión reportado de 92-95 °C. La fórmula química para la ADN es $\text{NH}_4\text{N}(\text{NO}_2)_2$.

El HMX y el RDX generalmente se producen con un tamaño de partícula de 150 a 160

Micras (Malla 100-80). El HMX tiene una densidad de 1,91 g/cc, un punto de fusión de 275 °C y una fórmula química de $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_8\text{O}_8$. El RDX tiene una densidad de 1,81 g/cc, un punto de fusión de 204 °C y una fórmula química de $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$. El HMX y el RDX también se descomponen violentamente en sus puntos de fusión.

4.C.5. Sustancias poliméricas, según se indica:

- a. Polibutadieno terminado en carboxi (incluyendo polibutadieno terminado en carboxilo) (CTPB);
- b. Polibutadieno terminado en hidroxilo (incluyendo polibutadieno terminado en hidroxilo) (HTPB) (CAS 69102-90-5);
- c. Polímero de glicidil azida (GAP), que incluye GAP terminado en hidroxilo;
- d. Polibutadieno - ácido acrílico (PBAA);
- e. Polibutadieno - Ácido acrílico - Acrilonitrilo (PBAN) (CAS 25265-19-4 / CAS 68891-50-9);
- f. Politetrahidrofurano polietilenglicol (TPEG).

Nota técnica:

El politetrahidrofurano polietilenglicol (TPEG) es un copolímero en bloque de poli 1,4-butanodiol (CAS 110-63-4) y polietilenglicol (PEG) (CAS 25322-68-3).

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

Producción global

**Naturaleza y propósito:** Estos seis polímeros son químicos.

Se utiliza como aglutinante y combustible en el propulsante de motor de cohete de propulsante sólido. Son líquidos que se polimerizan durante la fabricación del motor para formar la matriz elástica que mantiene unidos los ingredientes propulsantes sólidos en un material compuesto polimérico similar al caucho. También se quemar como combustibles y contribuyen al empuje general. El GAP es el único polímero energético en este grupo. Proporciona energía como resultado de su descomposición durante el proceso de combustión.

Método de operación: Las mezcladoras por lotes (o, raramente, las mezcladoras continuas para la producción a gran escala) se utilizan para mezclar proporciones cuidadosamente controladas de ingredientes propulsantes de motores de cohetes en la sustancia polimérica. El material viscoso y bien mezclado se vierte en una carcasa de motor de cohete, en la que se polimeriza y se adhiere a un forro interior

o aislante dentro de la carcasa del motor del cohete. El resultado es un motor cohete completamente cargado con propulsante sólido.

Usos típicos relacionados con misiles: Estas sustancias poliméricas se utilizan en la producción de propulsantes sólidos para motores de cohetes sólidos y motores de cohetes híbridos. También se utilizan en la producción de motores de cohetes sólidos más pequeños utilizados para lanzar misiles de crucero y otros vehículos aéreos no tripulados. Estos ingredientes vinculantes afectan en gran medida el rendimiento del motor, el envejecimiento, la capacidad de almacenamiento, el procesamiento de propulsantes y la fiabilidad.

Aunque todos estos materiales son preocupantes como posibles aglutinantes de propulsantes sólidos, el HTPB es el aglutinante preferido. En la actualidad, ningún sistema de misiles balísticos desplegados utiliza GAP o PBAA. El CTPB y el PBAN han suplantado en gran medida a PBAA debido a sus características mecánicas y de envejecimiento superiores.

Otros usos: El PBAN no tiene usos comerciales. El HTPB tiene amplios usos en asfalto y electrónica, y como sellador.

Apariencia (como se fabrica): Estos seis materiales poliméricos son líquidos transparentes, incoloros y viscosos. Los antioxidantes se agregan al nivel de uno por ciento o menos en el momento de la fabricación para mejorar la vida útil; aportan un color a los materiales que pueden variar de amarillo claro a marrón oscuro. Este color depende del tipo y la cantidad de antioxidante utilizado.

La viscosidad de estos seis líquidos varía desde la del jarabe ligero hasta la de la melaza pesada. Excepto para el GAP, que es casi inodoro y tiene una densidad específica de 1,3 g/cc, los polímeros a base de polibutadieno tienen un olor a petróleo distintivo y densidades ligeramente menores que las del agua (0,91 g/cc a 0,94 g/cc).



Imagen 59: Un tambor de envío de ácido polibutadieno-ácido acrílico-acrilonitrilo (PBAN). (The Charles Stark Draper Laboratories)

Apariencia (como empaquetado): Estos líquidos generalmente se envían en tambores de acero de 55 galones. Los interiores de los tambores generalmente están recubiertos con una pintura epoxi u otro material para evitar la oxidación. Si los líquidos se envían en tambores de acero inoxidable, el revestimiento no es necesario. Se pueden usar recipientes más pequeños o más grandes dependiendo de la cantidad que se envía; se pueden utilizar carros tanque o camiones tanque para enviar cantidades muy grandes. En la Imagen 59 se presenta un ejemplo de PBAN en su tambor de envío.

4.C.6. Otros aditivos y agentes propulsantes, según se indica:

a. Agentes de unión de la siguiente manera:

1. Óxido de tris (1-(2-metil) aziridinil) fosfina (MAPO) (CAS 57-39-6);
2. 1,1',1''-trimesoil-tris (2-etilaziridina) (HX-868, BITA) (CAS 7722-73-8);
3. Tepanol (HX-878), producto de reacción de tetraetilenpentamina, acrilonitrilo y glicidol (CAS 68412-46-4);
4. Tepan (HX-879), producto de reacción de tetraetilenpentamina y acrilonitrilo (CAS 68412-45-3);
5. Aziridina amidas polifuncionales con esqueleto isoftálico, trimésico, isocianúrico o trimetilapídico que también tienen un grupo 2-metil o 2-etil aziridina;

Nota:

Artículo 4.C.6.a.5. incluye:

1. 1,1'-isofalcoil-bis (2-metilaziridina) (HX-752) (CAS 7652-64-4);
2. 2,4,6-tris (2-etil-1-aziridinil) 1,3,5-triazina (HX-874) (CAS 18924-91-9);
3. 1,1'-isofalcoil-bis (2-metilaziridina) (HX-877) (CAS 71463-62-2) (CAS 71463-62-2).

Naturaleza y propósito: Los agentes de unión propulsantes se usan para mejorar la unión o adhesión entre el aglutinante y el oxidante, típicamente el AP. Este proceso mejora enormemente las propiedades físicas del propulsante al aumentar su capacidad para resistir el estrés y la tensión. Los agentes de unión normalmente se usan solo con propulsantes de HTPB. Algunos agentes de unión se usan como agentes de curado o reticuladores con propulsantes de CTPB o PBAN.

•MAPO

- Francia
- Japón
- Estados Unidos
- BITA, Tepanol y Tepan, PAA
- Estados Unidos
- Estados Unidos es el principal productor y proveedor de estos materiales, pero algunos países europeos y asiáticos pueden tener licencias de producción, y la producción de estos materiales puede estar más extendida porque la composición de estos materiales es información de código abierto y los métodos de producción no son difíciles de duplicar.

- India
- Federación de Rusia

Producción global



Método de operación: Los agentes de unión se agregan al propulsante durante la operación de mezcla a niveles generalmente inferiores al 0,3 %. El agente de unión reacciona con el AP para producir un revestimiento polimérico muy delgado en la superficie de la partícula de AP. Este revestimiento polimérico actúa como un adhesivo entre el AP y el aglutinante HTPB. La estructura molecular se mantiene casi igual.

Usos típicos relacionados con misiles: Los agentes de unión de propulsantes se utilizan para polimerizar propulsantes (unir el oxidante) para motores de cohetes sólidos. El MAPO es un agente de curado para prepolímeros de CTPB y un agente de unión para prepolímeros de HTPB. BITA es un agente de unión con HTPB. Tepan es un agente de enlace con HTPB. Las aziridenoamidas polifuncionales (PAA) son agentes de unión con HTPB y espesantes para CTPB y PBAN.

Otros usos: El MAPO se usa solo en propulsantes de cohetes sólidos. La BITA se utiliza con HTPB en el sector comercial, especialmente en electrónica, como sellador y agente de curado para prepolímeros de CTPB. El tepanol y el tepan se usan solo en propulsantes de cohetes sólidos. Las PAA se utilizan en adhesivos en el sector comercial.

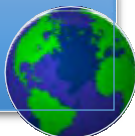
Apariencia (como se fabrica): El MAPO es un líquido ámbar ligeramente viscoso. Tiene un olor acre muy distintivo. Se polimeriza violentamente si entra en contacto con ácidos y el AP. Su punto de ebullición es de 1200 °C a 0,004 bar; su densidad es 1,08 g/cc y su fórmula química es C₉H₁₈N₃OP. BITA es un líquido viscoso de color amarillo claro; cuando se enfría por debajo de 160 °C, BITA es un sólido pálido, blanquecino y ceroso. BITA no tiene un punto de fusión definido, una densidad de 1,00 g/cc y una fórmula química de C₂₁H₂₇N₃O₃. El tepanol es un líquido viscoso de color amarillo oscuro. Tiene un olor muy fuerte como el de amoníaco. El tepan es mucho menos viscoso que el tepanol, pero es idéntico en todos los demás aspectos, incluido un olor muy fuerte como el de amoníaco. Las PAA son similares a las BITA.

Apariencia (como empaquetado): El MAPO se empaqueta y se envía en bidones o latas de acero estándar de 1 a 55 galones. BITA, Tepanol, Tepan y PAA se empaquetan en latas de acero de 1 galón que generalmente se envían en contenedores aislados empacados con hielo seco y almacenados a 0 °C o menos para mantener su vida útil.

4.C.6.b. b. Catalizadores de reacción de curado como sigue: Trifenil bismuto (TPB) (CAS 603-33-8);

- Francia
- Japón
- Suiza
- Estados Unidos

Global
producción



Naturaleza y propósito: Los agentes de curado y los catalizadores se utilizan para polimerizar motores de cohetes de propulsante sólido; es decir, hacen que la mezcla viscosa de sustancia polimérica líquida y otros ingredientes sólidos propulsantes se solidifiquen en un compuesto de goma que se adhiere al revestimiento interno o al aislante dentro de la carcasa del motor.

Método de operación: El TPB se agrega en pequeñas cantidades a HTPB para desencadenar una reacción química relativamente suave conocida como polimerización. La estructura molecular de HTPB permanece casi igual, pero el material se convierte de líquido a sólido debido a la reticulación molecular.

Usos típicos relacionados con misiles: El TPB se utiliza como catalizador de curado en los propulsores de cohetes sólidos HTPB.

Otros usos: El TPB se usa en algunos plásticos.

Apariencia (como se fabrica): El TPB es un polvo cristalino de color blanco a tostado claro. El TPB tiene una densidad de 1,7 g/cc, un punto de fusión de 78 °C y la fórmula química C₁₈H₁₅Bi.

Apariencia (como empaquetado): El TPB se envasa en envases de vidrio marrón debido a su sensibilidad a la luz. La capacidad de estos contenedores varía desde unos pocos gramos hasta 5 kg. Cuando se envía en grandes cantidades, el TPB puede empacarse en bolsas de polietileno dentro de paquetes de fibra o cartones de cartón.

4.C.6.c. Modificadores de velocidad de combustión, de la siguiente manera:

1. Carboranos, decaboranos, pentaboranos y derivados de los mismos;
 2. Derivados de ferroceno, según se indica:
 - a. Catoceno (CAS 37206-42-1);
 - b. Ferroceno de etilo (CAS 1273-89-8);
 - c. n-propil ferroceno (CAS 1273-92-3) / iso-propil ferroceno (CAS 12126-81-7);
 - d. n-butil ferroceno (CAS 31904-29-7);
 - e. Pentil ferroceno (CAS 1274-00-6);
 - f. Dicitlopentil ferroceno (CAS 125861-17-8);
 - g. Dicitlohexil ferroceno;
 - h. Dietil ferroceno (CAS 1273-97-8);
 - i. Dipropil ferroceno;
 - j. Ferroceno de dibutilo (CAS 1274-08-4);
 - k. Dihexil ferroceno (CAS 93894-59-8);
 - l. Acetil ferroceno (CAS 1271-55-2) / 1,1'-diacetil ferroceno (CAS 1273-94-5);
 - m. Ácido ferroceno carboxílico (CAS 1271-42-7) / ácido 1,1'-ferrocenodicarboxílico (CAS 1293-87-4);
- Butaceno (CAS 125856-62-4);
 Otros derivados del ferroceno utilizables como modificadores de la velocidad de combustión del propulsante de cohete;

Nota:

El artículo 4.C.6.c.2.o no controla los derivados de ferroceno que contienen un grupo funcional aromático de seis carbonos unido a la molécula de ferroceno.

Naturaleza y propósito: Los modificadores de la velocidad de combustión son aditivos químicos para los propulsores de cohetes sólidos que alteran la velocidad a la que se quema el combustible. El propósito es adaptar el tiempo de combustión del motor del cohete para cumplir con los requisitos.

Método de operación: Los modificadores de la velocidad de combustión se mezclan en cantidades cuidadosamente controladas en el propulsante del motor de cohete durante la producción.

Usos típicos relacionados con misiles: Se agregan al propulsante para modificar las tasas de combustión y permitir a los diseñadores adaptar el perfil de empuje para cumplir con los requisitos.

Otros usos: Algunos derivados de borano tienen usos comerciales como catalizadores en la polimerización de olefinas, el tratamiento del agua, utilizados en la industria farmacéutica para el tratamiento del diagnóstico de enfermedades y como agentes en la vulcanización del caucho.

Apariencia (como se fabrica): El catoceno es un líquido rojo oscuro ligeramente viscoso, pero aparece amarillo en una película delgada o como una mancha amarilla en un paño o papel blanco. Es una mezcla de seis isómeros, todos con altas temperaturas de ebullición. Es insoluble en agua, pero soluble en la mayoría de los solventes orgánicos. Tiene una densidad de 1,145 g/cc, ligeramente mayor que la del agua. El catoceno tiene la fórmula química C₂₇H₃₂Fe₂. El catoceno, nombre comercial de 2,2'-bis (etilferrocenil) propano, es probablemente el ferroceno más utilizado en la industria de los propulsores. Todos los derivados de ferroceno contienen hierro y se agregan a los propulsores que contienen AP.

- **Para el catoceno**

- Estados Unidos
- Para derivados del ferroceno
 - China
 - Francia
 - Alemania
 - Japón
 - Federación Rusa
 - Suiza
 - Reino Unido
 - Estados Unidos
- Para derivados de borano
 - Francia
 - Federación Rusa
 - Reino Unido
 - Estados Unidos
- **Para el butaceno**

Producción global



El ferroceno y sus derivados son polvos de cristal de color naranja a amarillo. Son compuestos organometálicos con estructura sándwich.

El n-butil ferroceno y otros derivados del ferroceno son similares en apariencia al catoceno. Los ferrocenos tienen menos aplicaciones en misiles de Categoría I que en misiles tácticos más pequeños. Aumentan la sensibilidad del propulsante al encendido accidental por fricción y descarga electrostática.

El butaceno es único ya que es un aglutinante de HTPB y un modificador de velocidad de grabación. Es un líquido de muy alta viscosidad que se asemeja a un jarabe o melaza de maíz oscuro muy pesado.

Los carboranos, descarboranos, pentaboranos y sus derivados son líquidos claros e incoloros sin olor distintivo. Los derivados de carborano más comunes usados en propulsores sólidos son n-hexil carborano y carboranilmetil propionato. Los carboranos pueden causar daño a los nervios, según algunos estudios. Las sales de metales alcalinos de descarboranos y pentaboranos son polvos blancos. La mayoría de los derivados del borano son menos densos que el agua y son tóxicos. Los derivados del borano se utilizan para producir tasas de combustión extremadamente altas en propulsores sólidos. Los derivados del borano son extremadamente caros de producir. Raramente se usan en propulsores de misiles balísticos.

Apariencia (como empaquetado): Todos estos materiales se envían en contenedores de tambor de acero que varían en capacidad de 1 gal a 55 gal.

- 4.C.6.d. d. Ésteres y plastificantes de la siguiente manera:
1. Dinitrato de trietilenglicol (TEGDN) (CAS 111-22-8);
 2. Trinitrato de trimetiloletano (TMETN) (CAS 3032-55-1);
 3. Trinitrato de 1,2,4-butanetriol (BTTN) (CAS 6659-60-5);
 4. Dinitrato de dietilenglicol (DEGDN) (CAS 693-21-0);
 5. 4,5 diazidometil-2-metil-1,2,3-triazol (iso-DAMTR);
 6. Plastificantes a base de nitratoetilnitramina (NENA), según se indica:
 - a. Metil-NENA (CAS 17096-47-8);
 - b. Etil-NENA (CAS 85068-73-1);
 - c. Butil-NENA (CAS 82486-82-6);
 7. Plastificantes a base de dinitropropilo, según se indica:
 - a. Bis (2,2-dinitropropil) acetal (BDNPA) (CAS 5108-69-0);
 - b. Bis (2,2-dinitropropil) formal (BDNPF) (CAS 5917-61-3);

• Cualquier país puede adquirir la capacidad de producir estos productos. Cualquier país que haya establecido una planta de nitración, como la producción de explosivos, podría producir una variedad de estos ésteres de nitrato.

Producción
global



Naturaleza y propósito: Estos ésteres de nitrato, también conocidos como plastificantes nitrados, son aditivos para los propulsores de cohetes sólidos utilizados para aumentar su velocidad de combustión.

Método de operación: Los ésteres de nitrato y los plastificantes nitrados son explosivos líquidos que contienen suficiente oxígeno para mantener su propia combustión. Generalmente se agregan a los propulsores de alto rendimiento que contienen HMX y aluminio para lograr un mayor rendimiento.

Usos típicos relacionados con misiles: Los ésteres de nitrato y los plastificantes nitrados se agregan a los propulsores de doble base para aumentar su energía propulsante. Porque los plastificantes no reaccionan con los agentes de curado y permanecen líquidos a bajas temperaturas, hacen que los propulsores sólidos sean menos propensos a agrietarse o encogerse en temperaturas frías.

Otros usos: Los ésteres de nitrato se usan como componentes de explosivos militares y comerciales.

Apariencia (como se fabrica): Los ésteres de nitrato son líquidos densos y aceitosos que varían en color de claro a ligeramente amarillo.

Apariencia (como empaquetado): Los ésteres de nitrato se envían en bidones de acero de 5 a 55 galones marcados con etiquetas que indican explosivos. A excepción del BTTN, estos ésteres de nitrato se envían sin diluir a menos que el usuario final solicite que se envíen diluidos con un solvente. Debido a su sensibilidad al choque, el BTTN se envía diluido con cloruro de metileno o acetona. Cuando se diluye con cloruro de metileno, el BTTN tiene un olor dulce como el del cloroformo. Cuando se diluye con acetona, tiene un olor similar al del esmalte de uñas. Cuando se agregan estabilizadores (generalmente al nivel de 1,0 %), el éster de nitrato adquiere un color rojo intenso.

4.C.6.e. Estabilizadores como sigue:

1. 2-nitrodifenilamina (CAS 119-75-5);
2. N-metil-p-nitroanilina (CAS 100-15-2).

• **2-NDPA**

- Francia
- Japón
- Suiza
- Reino Unido
- Estados Unidos

• **MNA**

- Suiza
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción global



Naturaleza y propósito: La 2-nitrodifenilamina (2-NDPA) y la n-metil-p-nitroanilina (MNA) son aditivos que inhiben o reducen la descomposición de los combustibles de cohetes que contienen ésteres de nitrato o nitrocelulosa. Estos tipos de propulsores se denominan propulsores de doble base, doble base modificada compuesta o doble base reticulada.

Método de operación: Estos estabilizadores alteran el ambiente químico dentro del propulsante para reducir la descomposición de sus componentes.

Usos típicos relacionados con misiles: Estos estabilizadores hacen que los propulsores compuestos estén menos sujetos a los efectos del envejecimiento. Como resultado, aumentan la vida útil efectiva de los misiles propulsores sólidos.

Otros usos: La 2-NDPA se usa en explosivos como estabilizador

de nitroglicerina. Se usa ampliamente en toda la industria de municiones. La MNA no tiene usos comerciales conocidos.

Apariencia (como se fabrica): En su estado puro, la 2-NDPA es un sólido cristalino amarillo brillante con una densidad de 1,15 g/cc y un punto de fusión de 74-76 °C. La fórmula química de la 2-NDPA es C₁₂H₁₀N₂O₂. Cuando se expone a la luz, la 2-NDPA cambia a un color naranja oscuro.

La MNA también es un sólido cristalino amarillo brillante con una densidad de 1,20 g/cc y un punto de fusión de 152-154 °C. La fórmula química de la MNA es C₇H₈N₂O₂.

Apariencia (como empaquetado): Cuando se envían en pequeñas cantidades, la 2-NDPA y la MNA se empaquetan en envases de vidrio marrón porque son sensibles a la luz. Cuando se envían en grandes cantidades, se empaquetan en bolsas de polietileno y se colocan dentro de paquetes de fibra o envases de cartón.

'Propulsores de gel' formulados específicamente para su uso en los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2.

Nota técnica:

Un "propulsante de gel" es una formulación de combustible u oxidante que utiliza un gelificante como silicatos, caolín (arcilla), carbono o cualquier gelificante polimérico.

N.B. Números de CAS incluidos en el artículo 4.C. son notas técnicas. Para el uso de números CAS en el Anexo, vea la Sección de Introducción (f).

- China
- Alemania
- Estados

Producción global



Naturaleza y propósito: El propulsante en gel se comporta como un propulsante sólido en almacenamiento y como un propulsante líquido en uso. El propulsante en gel combina el manejo más fácil y el largo tiempo de almacenamiento del propulsante de cohete sólido con la capacidad de estrangular, controlar el empuje y reiniciar un motor de cohete de propulsante líquido. El propulsante en gel proporciona un mejor impulso específico que los propulsores sólidos o líquidos.

Método de operación: La etapa presurizada de un cohete de gel propulsante proporciona la presión necesaria para forzar el gel propulsante a la cámara de combustión. La

etapa superior contendrá algún método de suministro de un gas a alta presión, ya sea helio o el uso de un generador de gas de propulsante sólido, para empujar el propulsante en gel hacia la cámara de combustión. Si se utiliza un generador de gas de propulsante sólido para generar la presión, el tanque requerirá algún tipo de escudo térmico.

Usos típicos relacionados con misiles: Los propulsores en gel se usan para reducir el peso bruto de levantamiento debido a que tienen una densidad menor que el combustible líquido o sólido. Los propulsores en gel proporcionan un alto grado de sensibilidad mientras producen un mínimo de humo, por lo tanto, una baja firma. El propulsante de cohete a base de gel podría proporcionar la mejor combinación, permitiendo la modulación del empuje como en los motores de propulsante líquido para maximizar la resistencia y el rendimiento del arma, al tiempo que ofrece una vida útil prolongada y una alta disponibilidad operativa de motores de cohete sólido.

Otros usos: N/C.

Apariencia (como se fabrica): Los propulsores de gel son líquidos gelificados transparentes con una consistencia firme que varía en color de claro a amarillo.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

4.D. Programas informáticos

4.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la operación o mantenimiento del equipo especificado en 4.B. para la "producción" y manipulación de materiales especificados en 4.C.

- | | |
|----------------------|-------------------|
| • Argentina | • Australia |
| • Austria | • Bélgica |
| • Brasil | • Bulgaria |
| • Canadá | • China |
| • República Checa | • Egipto |
| • Finlandia | • Francia |
| • Alemania | • Grecia |
| • India | • Irán |
| • Israel | • Italia |
| • Japón | • Luxemburgo |
| • Países Bajos | • Nueva Zelanda |
| • Corea del Norte | • Pakistán |
| • Polonia | • Federación Rusa |
| • República Eslovaca | • Sudáfrica |
| • República de Corea | • España |
| • Suecia | • Suiza |
| • Siria | • Ucrania |
| • Reino Unido | • Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: Como se indica en 4.B.1, el equipo de producción requerido para fabricar propulsante líquido es común en las industrias química y petrolera. El programa informático de control de procesos de esas industrias se puede utilizar en instalaciones de fabricación de propulsores líquidos con modificaciones para acomodar las propiedades únicas de los propulsores. Los propulsores líquidos pueden ser tóxicos, peligrosos de manejar y altamente inflamables o pueden soportar fácilmente la combustión. El programa informático de control de procesos diseñado específicamente para producir estos propulsores reduce el riesgo y da como resultado un rendimiento constante.

El equipo analítico utilizado en los laboratorios de prueba de aceptación de propulsores líquidos está en gran medida automatizado. Este equipo de prueba listo para usar produce análisis confiables y precisos sin modificar el programa informático operativo.

Las instalaciones de producción de propulsores sólidos son principalmente operaciones orientadas a lotes. Los molinos de energía fluida se utilizan para producir un tamaño de partícula específico para el oxidante. El equipo de producción de polvo de metal se utiliza para producir

los aditivos de combustible especificados en 4.C.2.c, 4.C.2.d y 4.C.2.e. Estos sistemas pueden usar programa informático de control de procesos diseñado específicamente para mantener los parámetros de proceso adecuados. Las escalas (analógicas o digitales) se utilizan para medir cantidades precisas de ingredientes propulsores (combustible, oxidante, aglutinante, inhibidores, estabilizadores, modificadores de la velocidad de combustión y agentes de curado). Los sistemas de mezcla al vacío controlados por ordenador se utilizan para combinar los ingredientes propulsores que dan como resultado una lechada viscosa. El programa informático controla el nivel de vacío, los tiempos de enfriamiento y mezclado para el proceso. Después de verter el propulsante en la carcasa del motor, debe curarse a temperatura elevada durante un período de tiempo específico. Estos parámetros de curado son esenciales para permitir que las propiedades mecánicas se estabilicen y, a menudo, se controlan mediante programa informático que opera el horno o la sala de curado. El equipo analítico

utilizado para evaluar el propulsante sólido también depende del equipo automatizado para determinar su composición química. Las muestras de propulsante se encienden y las propiedades de estas muestras se analizan en calorímetros de bomba y espectrómetros infrarrojos. Las muestras de propulsores sólidos también se evalúan para determinar la resistencia mecánica y la capacidad de resistir el estrés y la tensión en equipos de medición y prueba de esfuerzo/tensión asistidos por ordenador. La radiografía de rayos X se usa para evaluar el propulsante en busca de huecos y la integridad de la unión del propulsante/revestimiento. Estos sistemas alimentan el programa informático de control de calidad asociado con la producción de propulsores.

Método de operación: El programa informático se carga en ordenadores tan pequeñas como un PC o un PLC para controlar el proceso especificado. El programa informático utilizado para controlar las válvulas electromecánicas y otros equipos que se encuentran en una planta química se puede utilizar para gestionar la transferencia de fluidos, la gestión del calor y otros procesos utilizados para fabricar propulsores líquidos. El programa informático gestiona los parámetros del proceso para los mezcladores de propulsores sólidos, el equipo de producción de polvo metálico y las estaciones de curado. Las máquinas de control numérico se utilizan para fresar y mecanizar las superficies de núcleos sólidos de motores propulsores para eliminar los residuos que quedan cuando se retira el mandril del motor. En instalaciones avanzadas, todos los controladores de procesos y ordenadores individuales están conectados en red a un centro de control donde se monitorean las operaciones generales.

Otros usos: Gran parte del programa informático utilizado en la producción de propulsores líquidos y sólidos está comercialmente disponible y modificado para apoyar la producción de propulsores. Parte del programa informático es específico de proceso/máquina sin otro uso conocido.

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 el "programa informático" se ejecute en el ordenador adecuado. Este programa informático, incluida la documentación, se puede transmitir a través de una red informática.

4.E. Tecnología

4.E.1 "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de equipos o materiales especificados en 4.B. y 4.C.

Naturaleza y propósito: La tecnología de propulsores es el conocimiento requerido para desarrollar o usar el equipo especificado en 4.B para producir o usar los materiales especificados en 4.C para la producción de propulsores líquidos o sólidos. Este conocimiento incluye la formulación y fabricación de constituyentes propulsores líquidos o sólidos, relaciones de mezcla de los constituyentes propulsores, parámetros operativos de la máquina y el proceso, dibujos, manuales y capacitación. Este conocimiento a menudo se considera propietario del equipo o proceso específico involucrado.

Método de operación: La tecnología utilizada para diseñar instalaciones de producción de propulsores líquidos se puede obtener de los libros de texto de ingeniería química. Cualquier país industrial con industrias químicas o petroleras tiene los conocimientos básicos y la experiencia. Se trata de la adquisición o transferencia de conocimiento para diseñar, fabricar y usar especialmente los elementos necesarios para la producción de propulsante líquido que se controla.

La tecnología asociada con la producción de propulsores sólidos es más especializada. Las fórmulas y los parámetros de procesamiento para un propulsante sólido en particular probablemente sean propiedad y estén controlados por el país/fabricante. Cualquier modificación a los molinos de energía fluida, equipos de producción de metal en polvo o mezcladores para cumplir con los requisitos para producir los componentes y/o el propulsante final se controlan.

Un país que busca desarrollar una capacidad de producción de propulsores indígenas tiene varias opciones. El país puede comprar la tecnología como una operación llave en mano de un tercero. El país puede aprovechar los conocimientos existentes en el caso de la experiencia en la industria química o petrolera y contratar consultores con experiencia en la modificación de equipos para la producción de propulsores. Una tercera opción sería enviar personal técnico a capacitación en otros países para adquirir los conocimientos necesarios para soportar el proceso desde cero.

Usos típicos relacionados con misiles: Esta tecnología se utiliza para producir propulsores que alimentan misiles.

Otros usos: N/C.

Apariencia (como se fabrica): N/C.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

Categoría II - Artículo 5
Reservado para uso futuro

Categoría II - Artículo 6

Producción de materiales
compuestos estructurales,
deposición y densificación
pirolítica y materiales

Categoría II - Artículo 6 Producción de materiales compuestos estructurales, deposición y densificación pirolítica y materiales estructurales

6.A. Equipos, ensamblajes y componentes

6.A.1. Estructuras compuestas, laminados y sus manufacturas, especialmente diseñados para su uso en sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2. y los subsistemas especificados en 2.A. o 20.A.

- | | |
|---------------|-------------------|
| • China | • Dinamarca |
| • Francia | • Alemania |
| • Israel | • India |
| • Japón | • Federación Rusa |
| • Sudáfrica | • Suecia |
| • Reino Unido | • Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: Los compuestos y laminados se usan para fabricar piezas de cohetes y vehículos aéreos no tripulados (UAV) que a menudo son más livianas, más fuertes y más duraderas que las piezas hechas de metales u otros materiales.

Usos típicos relacionados con misiles: Los compuestos y laminados se utilizan generalmente en componentes estructurales fundamentales de misiles balísticos o UAV, incluidos los misiles de crucero. Los usos incluyen carcasas sólidas de motores de cohetes, interetapas, alas, entradas, toberas, protectores térmicos, puntas de ojivas, miembros estructurales y marcos.

Otros usos: Las estructuras compuestas se pueden formar en casi cualquier forma para satisfacer las necesidades requeridas.

Pueden aumentar la velocidad de fabricación del producto y permitir una mayor flexibilidad en la configuración del producto final. Los compuestos se pueden fabricar para proporcionar resistencia direccional donde sea necesario y al mismo tiempo reducir el peso en comparación con sus contrapartes metálicas. Se utilizan tanto en aeronaves civiles como militares, como armaduras para vehículos militares, en productos recreativos (esquí, raquetas de tenis, botes y palos de golf), piezas de automóviles, ordenadores portátiles, teléfonos inteligentes y en infraestructura (reparaciones de puentes y como refuerzo de concreto).

Apariencia (como se fabrica): Los compuestos asumen la forma del objeto, mandril o molde sobre el que se forman. El refuerzo utilizado para hacer un material compuesto a menudo da como resultado un patrón similar a un textil en la superficie del objeto, especialmente cuando se usa un paño preimpregnado. Incluso cuando no se usa tela, el patrón lineal de la cinta aún puede estar presente. Las pinturas y revestimientos de gel a veces pueden ocultar este patrón.

Apariencia (como empaquetado): Las estructuras compuestas se empaquetan de manera muy similar a otras estructuras, con espuma u otros materiales para protegerlos de las abrasiones de la superficie o las distorsiones del estrés.

- 6.A.2. Componentes pirolizados resaturados (es decir, carbono-carbono) que tienen todo lo siguiente
- Diseñado para sistemas de cohetes; y
 - Utilizable en los sistemas especificados en 1.A. o 19.A.1.

- Francia
- India
- Japón
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Global
Producción



Naturaleza y propósito: El carbono-carbono es un compuesto de fibra de carbono, generalmente hecho de brea, rayón o poliacrilonitrilo (PAN), en una matriz dominada por carbono (o grafito). Por lo general, se hace usando una resina de carbono de alto contenido como matriz inicial y luego expulsando los elementos que no son de carbono a altas temperaturas. Es liviano, altamente resistente al calor, resistente al choque térmico y maleable para dar forma.

Usos típicos relacionados con misiles: Los materiales de carbono-carbono se utilizan para elementos como los conos y toberas de salida del motor de cohete, y las puntas de ojivas del vehículo de reentrada (RV), los escudos térmicos y los bordes delanteros de las superficies de control que deben resistir los efectos de las altas temperaturas y la ablación. La Imagen 60 muestra los resultados de una prueba de chorro de arco de 300 segundos en un cono de ojiva

de carbono-carbono recubierto con capas de carburo de silicio. No se evidenciaron cambios de masa o dimensiones en la estructura del cono después de la exposición a temperaturas extremadamente altas.

Otros usos: Las estructuras de carbono-carbono se utilizan en aplicaciones de aeronaves militares y civiles, como zapatas de freno de alta temperatura, y en otras aplicaciones que requieren una fuerza alta y bajo peso, como las raíces de las alas. También se pueden usar para herramientas que requieren una larga vida en entornos de fabricación severos, generalmente de alta temperatura, como cucharas de colada para acero, calentadores para hornos de alta temperatura, herramientas de manipulación de vidrio caliente y herramientas de prensado en caliente.

Apariencia (como se fabrica): Los materiales típicos de carbono-carbono diseñados para los sistemas de cohetes son negros y tienen una superficie estampada como resultado del refuerzo textil. Las puntas de ojivas y las toberas de cohete generalmente se mecanizan a partir de bloques o tochos o se pueden tejer para darle forma.

Apariencia (como empaquetado): Antes del mecanizado, los bloques de material de carbono-carbono son lo suficientemente resistentes como para ser empacados en relleno y enviados en cajas de cartón. Las piezas mecanizadas requieren un embalaje cuidadoso porque, aunque son resistentes a la rotura (resistentes al impacto), pueden ser fácilmente desgarradas o raspadas.

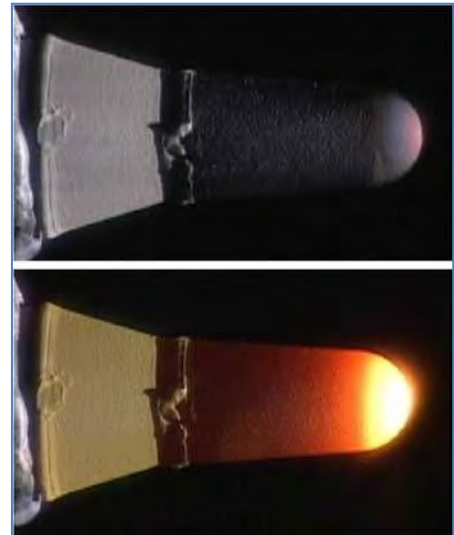


Imagen 60: Los efectos de las altas temperaturas en un cono de ojiva de carbono-carbono se observan después de 15 segundos (imagen superior) y 295 segundos. (Soluciones de materiales avanzados de Ultramet)

6.B. Equipo de prueba y producción

6.B.1. Equipos para la "producción" de materiales compuestos estructurales, fibras, preimpregnados o preformas, utilizables en los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2., según se indica a continuación, y componentes especialmente diseñados, y sus accesorios:

a. Máquinas para el devanado de filamentos o 'máquinas de colocación de cabos/fibra', en las que los movimientos para el posicionado, enrollado y devanado de las fibras estén coordinados y programados en tres o más ejes, que estén diseñadas para fabricar estructuras o laminados de materiales compuestos a partir de materiales fibrosos o filamentosos, y los controles de coordinación y programación;

- | | |
|---------------|------------------|
| •Francia | •Alemania |
| •Italia | •Japón |
| •Países Bajos | •Federación Rusa |
| •Reino Unido | •Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: Las máquinas para el devanado de filamentos y las máquinas para la colocación de fibra/cabo colocan fibras/cabos recubiertos con una resina epoxi o de poliéster sobre mandriles giratorios en patrones prescritos para crear piezas compuestas de alta relación resistencia/peso. Las máquinas para el devanado de filamentos se ven y funcionan como un torno. Las máquinas para la colocación de fibra/cabo vienen en muchas configuraciones diferentes que incluyen pórtico, columna o robot según el tamaño y la complejidad geométrica de la pieza. Una vez completada la operación de devanado, la pieza requiere algún tipo de curado para configurar el sistema de resina o epoxi. El curado se realiza en horno, autoclave o hidrocave.

Método de operación: Las máquinas para el devanado de filamentos y de colocación de fibras/cabos requieren mandriles para formar la geometría adecuada para la pieza a crear. Para el devanado de filamentos, el mandril se monta en la máquina y gira. A medida que gira, extrae fibra continua de los carretes de suministro hacia la superficie externa del mandril en un patrón preciso. La fibra continua puede preimpregnarse o estirarse a través de un baño de resina epoxi o de poliéster. Para la colocación de fibras/cabos, el mandril puede girar o estar en una posición fija. El cabezal de la máquina de colocación de fibras/cabos coloca "bandas de filamento" de resina impregnada o seca desde los carretes sobre el mandril mientras aplica calor y presión. A diferencia de la máquina para el devanado de filamentos, las "bandas de filamento" a menudo se cortan en una posición predeterminada según la geometría de la pieza. Después del devanado, el mandril y la parte acumulada en él se retiran de la máquina, y la parte se cura antes de retirar el mandril. Los tipos comunes de mandriles incluyen mandriles de araña/yeso solubles en agua; y mandriles segmentados y plegables. Las carcasas de motor grandes para motores de cohete sólido generalmente se fabrican en mandriles de arena solubles en agua. En ocasiones, también se utilizan revestimientos no extraíbles. Por ejemplo, los recipientes a presión revestidos de metal se fabrican utilizando un revestimiento metálico como mandril, que simplemente se deja dentro de la carcasa de la herida.

Usos típicos relacionados con misiles: Las máquinas para el devanado de filamentos y las máquinas para la colocación de fibra/cabo se utilizan para fabricar carcasas de motores de cohetes, tanques de propulsores, recipientes a presión y cubiertas de carga útil. La alta resistencia y el bajo peso de las estructuras resultantes hacen posible un mayor alcance de misiles y pesos de carga útil.

Otros usos: Las máquinas para el devanado de filamentos y las máquinas para la colocación de fibra/cabo se utilizan para producir piezas de aviones como estabilizadores de cola, partes de alas y el fuselaje. Se pueden usar para fabricar tanques de gas natural líquido, tanques de agua caliente, tanques de gas natural comprimido, pozos de palos de golf, raquetas de tenis y cañas de pescar.

Apariencia (como se fabrica): El tamaño de las máquinas para el devanado de filamentos y las máquinas para la colocación de fibra/cabo varía con el tamaño de la pieza a fabricar. Las devanadoras de filamentos utilizadas para fabricar piezas de 10 cm de diámetro miden aproximadamente 1 m x 2 m x 7 m y pueden caber en una sobremesa. Las bobinadoras para componentes grandes, como segmentos grandes de motores de cohetes, tienen aproximadamente 3 m de diámetro y 8 m de longitud y pesan varias toneladas (Imagen 61). Las máquinas para el devanado avanzadas están controladas numéricamente por ordenador y pueden enrollar formas complejas para cumplir requisitos especiales.

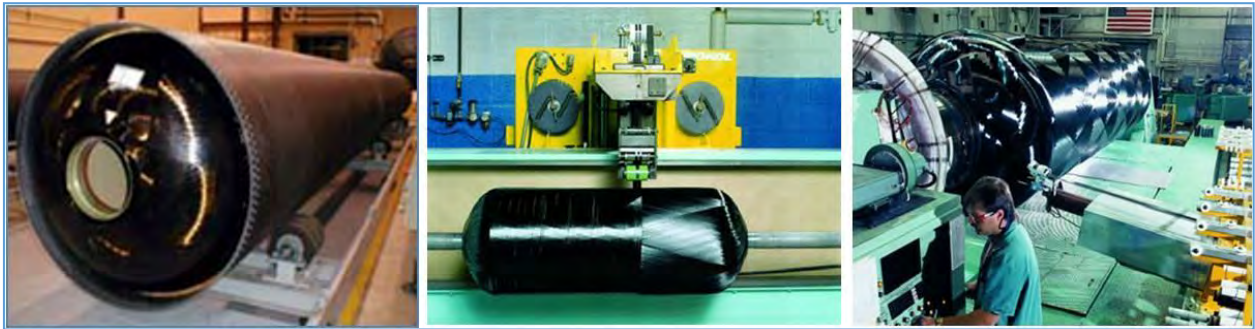


Imagen 61: *Izquierda:* Una carcasa de grafito epoxi producida usando una máquina para el devanado de filamentos avanzada. (ATK) *Centro:* Máquina para el devanado de filamentos de sobremesa. (Thiokol Corp.) *Derecha:* Una máquina para el devanado de filamentos con múltiples carretes de fibra. (Ibidem)

Apariencia (como empaquetado): El tamaño de las máquinas para el devanado de filamentos dicta su embalaje. Las máquinas más pequeñas se embalan en contenedores que absorben los golpes o se unen a paletas acolchadas aisladas de otros paquetes. Las máquinas más grandes se desmontan para su envío y se vuelven a montar en el sitio, y sus componentes se empaquetan por separado en cajas o paletas.

6.B.1.b. b. 'Máquinas para el tendido de cintas' cuyos movimientos para posicionar y tender las cintas y láminas estén coordinados y programados en dos o más ejes, que estén diseñadas para la fabricación de estructuras de materiales compuestos para fuselajes de aviones y de "misiles";

Nota:

A los efectos de 6.B.1.a. y 6.B.1.b., se aplican las siguientes definiciones:

1. Una 'banda de filamentos' es una única anchura continua de cinta, cabo o fibra total o parcialmente impregnada de resina. Las 'bandas de filamentos' total o parcialmente impregnadas de resina incluyen las revestidas de polvo seco que se adhieren después del calentamiento.
2. Las 'máquinas de colocación de cabos/fibra' y las 'máquinas para el tendido de cintas' son máquinas que realizan procesos similares que utilizan cabezales guiados por computadora para colocar una o varias 'bandas de filamentos' en un molde para crear una pieza o estructura. Estas máquinas tienen la capacidad de cortar y reiniciar cursos individuales de 'banda de filamentos' durante el proceso de colocación.
3. Las 'máquinas de colocación de cabos/fibra' tienen la capacidad de colocar una o más 'bandas de filamentos' con anchos menores o iguales a 25,4 mm. Esto se refiere al ancho mínimo de material que la máquina puede colocar, independientemente de la capacidad superior de la máquina.
4. Las 'máquinas para el tendido de cintas' tienen la capacidad de colocar una o más 'bandas de filamentos' con anchos menores o iguales a 304,8 mm, pero no pueden colocar 'bandas de filamentos' con un ancho igual o menor a 25,4 mm. Esto se refiere al ancho mínimo de material que la máquina puede colocar, independientemente de la capacidad superior de la máquina.

- | | |
|---------------|------------------|
| •Francia | •Alemania |
| •Italia | •Japón |
| •Países Bajos | •Federación Rusa |
| •Reino Unido | •Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: Las máquinas para el tendido de cintas vienen en muchos tamaños y configuraciones. Las máquinas utilizadas para fabricar estructuras de misiles y fuselaje se parecen a las fresadoras tipo pórtico. En lugar de quitar material, colocan "bandas de filamento" en un mandril. Las piezas candidatas para usar estas máquinas tienen contornos o ángulos suficientemente graduales para permitir el uso de "bandas de filamento" gruesas o anchas. Estas máquinas difieren de las máquinas para la colocación de fibra/cabo en la complejidad geométrica de las piezas producidas. Se requieren máquinas para la colocación de fibra/cabo cuando las piezas tienen superficies altamente cóncavas o convexas y áreas combinadas donde se deben colocar "bandas de filamento" más estrechas.

Método de operación: Las máquinas para el tendido de cintas operan colocando "bandas de filamento" unidireccionales de preimpregnado en un mandril que define la forma de la pieza que se está produciendo. A diferencia de las máquinas para el devanado de filamentos, estas "bandas de filamentos" se cortan durante el proceso de colocación en puntos predefinidos, generalmente controlados por la geometría de la pieza o los requisitos de diseño. Las estructuras con poca curvatura usan cintas con anchos más grandes (hasta aproximadamente 30 cm). Las estructuras con curvatura moderada a grande usan cintas en anchos más pequeños o las aplican en el sesgo con respecto a la dirección principal de curvatura.

Usos típicos relacionados con misiles: Las máquinas para el tendido de cintas se utilizan para fabricar escudos térmicos para RV, superficies de control, mamparos interetapas y otras pieles con curvatura moderada que no son cuerpos de revolución.

Otros usos: Las máquinas para el tendido de cintas se usan ampliamente en las industrias aeroespaciales militares y comerciales para las pieles de las alas y las secciones de fuselaje, donde se requiere una orientación precisa de las "bandas de filamento" para mayor resistencia y seguridad. Las partes tienden a ser grandes y planas o con curvatura moderada.



Imagen 62: Un cabezal de máquina para el tendido de cintas automatizado. (Dinámica automatizada)

Apariencia (como se fabrica): El tamaño de las máquinas para el tendido de cintas varía con el tamaño de las piezas requeridas. Las máquinas son asistidas por el operador o controladas numéricamente por ordenador (CNC). Las máquinas CNC tienen un teclado para ingresar datos para los diseños compuestos deseados. La plataforma, que es la característica dominante de la máquina, mide de 1 m a 2 m de longitud para la fabricación de piezas pequeñas y 10 m para piezas muy grandes. El peso de las máquinas grandes con una mesa de acero y un pórtico podría ser de 1000 a 2000 toneladas métricas. Un ejemplo de una máquina de colocación de cinta se muestra en la Imagen 62.

Apariencia (como empaquetado): El tamaño de las máquinas para el tendido de cintas dicta su embalaje. Las máquinas más pequeñas se embalan en contenedores que absorben los golpes o se unen a paletas acolchadas aisladas de otros paquetes. Las máquinas más grandes se desmontan para su envío y se vuelven a montar en el sitio, y sus componentes se empaquetan por separado en cajas o paletas.

6.B.1.c.c. Máquinas de tejido o máquinas de entrelazado multidireccionales y multidimensionales, incluidos adaptadores y kits de modificación para tejer, entrelazar o trenzar fibras para fabricar estructuras compuestas;

Nota:

6.B.1.c. no controla maquinaria textil no modificada para los usos finales indicados.

- Francia
- Alemania
- Japón
- Países Bajos
- Estados Unidos
- La maquinaria textil no controlada y fácilmente modificada para uso de gama baja se puede comprar en muchos países.

Producción global



Naturaleza y propósito: Las máquinas de tejer multidireccionales y multidimensionales se utilizan para interconectar fibras para hacer estructuras compuestas complejas. Las máquinas de trenzado proporcionan un método general para producir preformas de materiales multidireccionales. El propósito es colocar sistemáticamente fibras a lo largo de líneas de tensión anticipadas en configuraciones complejas de preformas, haciendo así que las partes sean más fuertes y livianas de lo que de otra manera sería posible.

Las máquinas de tejer requieren mecanismos de manipulación complejos para interconectar fibras, con carretes y mecanismos de rotación/movimiento integrales dentro de cada máquina. Algunas máquinas, en particular las que se utilizan para escudos térmicos para RV, están montadas en una cama y dependen de barras rígidas en al menos una dirección para estabilizar la geometría del tejido. Para máquinas de tejer utilizadas para fabricar tridimensional (3-D)

preformas polares, la construcción básica de la red necesaria para tejer incluye placas perforadas con patrones de agujeros especialmente diseñados, placas planas, varillas metálicas, agujas de tejer, paletas de retracción y, si el proceso está completamente automatizado, la maquinaria necesaria para operar las agujas de tejer y paletas de retracción. Los subelementos para otros tipos de tejido dependen del diseño específico de la máquina.

Método de operación: En un sistema, primero se instala un mandril de tejido en la máquina. A medida que gira el conjunto del mandril, las fibras circunferenciales se colocan continuamente en el sitio de tejido mediante un sistema de suministro de fibra tubular, que incluye dispositivos tensores de fibra y sensores de fibra faltante. En cada corredor en forma de pastel formado por la red de tejido, una aguja de tricotar radial atraviesa el corredor, captura una fibra radial en el interior del puerto y regresa al exterior del puerto, donde hace una puntada de bloqueo que impide el movimiento de la fibra radial durante las operaciones posteriores. Este proceso continúa y se completa con el lazo final.

Las máquinas de trenzado entrelazan dos o más sistemas de fibras en la dirección de polarización para formar una estructura integrada en lugar de unir las solo en una dirección longitudinal como en el tejido. Por lo tanto, el material trenzado difiere de las telas tejidas y de punto en el método por el cual la fibra se introduce en la tela y en la forma en que las fibras se entrelazan.

Usos típicos relacionados con misiles: Las máquinas de tejido multidireccionales y multidimensionales se utilizan para fabricar piezas críticas de misiles, como puntas de ojivas de RV, carcasas de motores de cohetes y toberas de cohetes que están expuestas a altas temperaturas y estrés.

Otros usos: Las máquinas de tejer se utilizan para fabricar una amplia gama de piezas compuestas complejas, como hélices de aviones, mástiles de aerogeneradores, esquís, postes de servicios públicos y artículos deportivos.

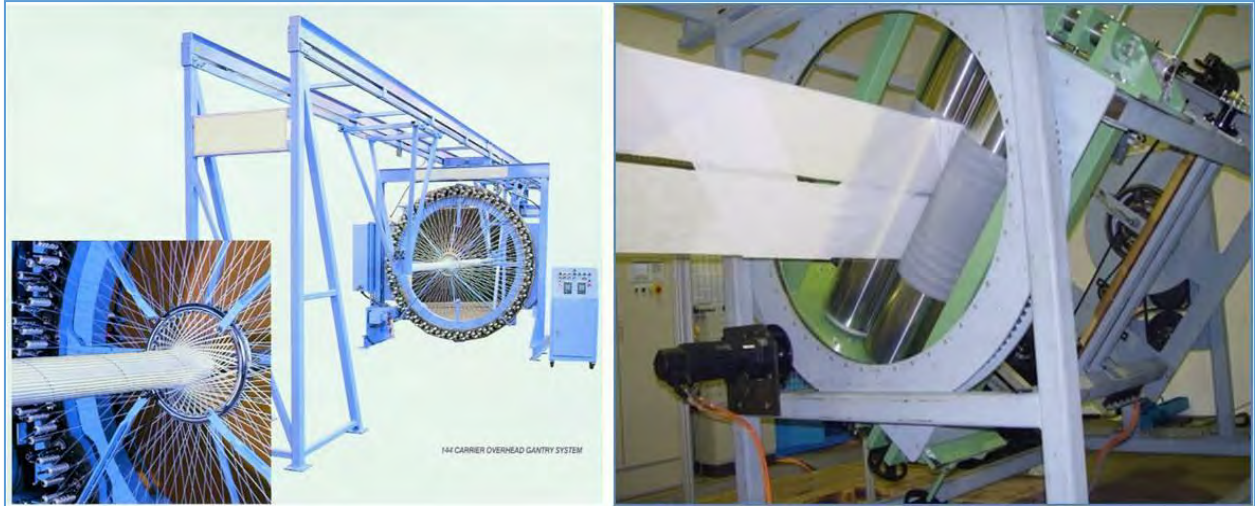


Imagen 63: Izquierda: Una máquina de trenzado de pórtico de 144 portadores. (Wardwell Braiding Machine Co.) Derecha: Prototipo de una máquina de tejer multidireccional en desarrollo. (MD Fibertech Corp)

Apariencia (como se fabrica): Una máquina de tejer tiene un área de trabajo en una mesa giratoria con una red de varillas que penetran las placas perforadas alrededor de las cuales se teje la fibra. El área de trabajo está rodeada de dispensadores de fibra en carrete y agujas de devanado y lazos. Los motores de accionamiento, las levas y las varillas de empuje que tejen también están montados en el bastidor principal de la máquina.

Las máquinas de tejer utilizadas para hacer piezas pequeñas pueden medir 2 m de largo y 1 m de ancho. Las que se usan para hacer piezas grandes pueden tener 10 m de largo si están dispuestas horizontalmente o 10 m de alto si están dispuestas verticalmente. Las máquinas de trenzado pueden montarse en el piso o tener un pórtico superior que soporte el husillo en el que se realiza la preforma. En cualquier configuración, la fibra se alimenta al huso radialmente a través de una rueda grande centrada en el huso. El panel de control está ubicado en el centro del pórtico para monitorear el desarrollo de preformas.

Apariencia (como empaquetado): El embalaje de las máquinas de tejer depende de su tamaño. Las máquinas más pequeñas pueden estar completamente encerradas en carcasas de embalaje. Los componentes de las máquinas más grandes se desmontan para su envío y se vuelven a montar en el sitio, y se empaquetan por separado en cajas o palets. Es probable que una caja grande contenga el marco de la máquina. Todos los componentes están adecuadamente protegidos contra golpes y vibraciones durante el transporte y la manipulación.

6.B.1.d. Equipos diseñados o modificados para la producción de materiales fibrosos o filamentosos de la siguiente manera:

1. Equipos para la transformación de fibras polímeras (como poliacrilonitrilo, rayón, brea o polycarbosilano) en fibras de carbono o en fibras de carburo de silicio, incluyendo el dispositivo especial para tensar la fibra durante el calentamiento;

- Alemania
- Japón
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción
global



Naturaleza y propósito: Las fibras poliméricas son precursoras de la fabricación de fibras de carbono y cerámica. La calidad de estas precursoras afecta directamente las propiedades del material y la variación de rendimiento del producto final. La conversión de un polímero a una fibra de carbono o cerámica se produce calentando y estirando la precursora dentro de una atmósfera controlada. El equipo controlado bajo esta sección calienta, estira y controla la atmósfera en la que se procesa la fibra.

Método de operación: El proceso general para la fabricación de fibra de carbono a partir de poliacrilonitrilo (PAN) es el siguiente.

La fibra de PAN en las bobinas se carga en una bandeja que alimenta la línea de producción. La fibra polimérica se extiende en forma plana formando una banda o lámina de cabo antes de ingresar a los hornos de oxidación. La reticulación de las cadenas poliméricas comienza en este paso. La densidad de la fibra aumenta y el contenido de carbono es del 50 al 65 %. A continuación, la carbonización tiene lugar en hornos de alta temperatura que proporcionan una atmósfera inerte (nitrógeno o argón) para evitar que el oxígeno degrade la fibra. A medida que la fibra pasa a través de estos hornos, pierde peso y volumen. Dependiendo del número de hornos de carbonización y la temperatura de exposición final, el contenido de carbono de la fibra puede variar entre 93 y 99 %. A lo largo del proceso, la tensión o estiramiento de la fibra es fundamental para las propiedades mecánicas del producto final.

Usos típicos relacionados con misiles: El equipo se utiliza para convertir y tensar fibras poliméricas para producir fibras utilizadas en aplicaciones de misiles donde la gran resistencia y el bajo peso son primordiales. Estas fibras se utilizan en misiles para mejorar la resistencia de la carcasa del motor, el carenado y el tanque propulsante, al tiempo que reducen el peso y, por lo tanto, aumentan el alcance y la capacidad de carga del misil.

Otros usos: El equipo se utiliza para convertir fibras poliméricas para muchos usos, incluidas estructuras de aeronaves, neumáticos, palos de golf y cascos de barcos.

Apariencia (como se fabrica): Describir la apariencia del equipo utilizado para convertir fibras poliméricas es difícil debido a la variedad de formas en que puede ocurrir la disposición del equipo. El diseño generalmente se adapta al edificio de producción y cubre un espacio considerable. Los elementos más notables son los muchos rodillos de precisión y los mecanismos para su control. Los rodillos habitualmente son de 8 cm a 20 cm de diámetro y de 30 cm a 120 cm de largo, con su tamaño relacionado con los hornos en los que se van a utilizar.

Los rodillos impulsores se utilizan para empujar lentamente la fibra precursora a través de un horno bajo tensión controlada. Los rodillos impulsores generalmente están hechos de acero inoxidable pulido o acero cromado y se accionan de una manera para mantener los filamentos a una tensión constante o se accionan a una velocidad preprogramada para alargar los filamentos como parte del proceso. Por lo tanto, los rodillos pueden ser accionados por motores individuales en sus ejes o proporcionalmente accionados por engranajes desde un eje accionado por motor.

La maquinaria está diseñada para permitir que la fibra pase varias veces por la zona calentada con un control preciso de la velocidad de la fibra, la temperatura en cada zona del horno y la tensión en la fibra. La fibra debe pasar por varios de estos hornos porque el proceso requiere una amplia variedad de reacciones diferentes. Un sistema típico de horno de estirado de fibra tiene muchos rodillos y zonas de calentamiento aisladas en el horno. El tamaño del equipo varía ampliamente.

Habitualmente, los sistemas de hornos de tratamiento vertical se utilizan para tratamientos térmicos a temperaturas más altas. Sin embargo, los diversos tratamientos requeridos para producir una fibra de carbono u otra fibra refractaria a partir de una fibra polimérica exigen que se utilicen varios equipos. Los requisitos típicos incluyen hornos de baja temperatura con sistemas fundamentales de manejo de textiles y hornos de alta temperatura con capacidad de manejo de fibra para la conversión de la fibra a su estado final.

Apariencia (como empaquetado): Los hornos y los equipos de procesamiento necesarios para producir fibras de carbono varían en el embalaje dependiendo de su tamaño, peso y sensibilidad a los factores ambientales. En general, las versiones de laboratorio del equipo se pueden embalar completamente y enviar por ferrocarril o camión. Los hornos más grandes diseñados para uso comercial generalmente deben enviarse en unidades componentes y ensamblarse en el sitio. Sin embargo, algunos de los hornos pueden tener un diámetro tan grande que deben manejarse especialmente como carga de gran tamaño. El peso de estos hornos más grandes se aproxima a 1000 toneladas métricas o más.

6.B.1.d.

2. Equipos para la deposición en fase de vapor mediante procedimiento químico de elementos o de compuestos, sobre sustratos filamentosos calentados;

- Alemania
- Japón
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción
global



Naturaleza y propósito: El equipo para la deposición de vapor aplica un revestimiento de interfaz muy delgada a los filamentos. Estos revestimientos de interfaz cambian las propiedades de los filamentos. Los revestimientos metálicos son conductores y agregan resistencia a la abrasión; algunos recubrimientos cerámicos protegen las fibras de la reacción con la atmósfera o con materiales adyacentes. Los revestimientos también pueden mejorar la compatibilidad eventual de las fibras con un material matricial, como es el caso de algunos compuestos de matriz metálica.

Método de operación: Este equipo proporciona un entorno de vacío parcial adecuado para condensar o depositar un forro sobre filamentos.

El proceso de deposición de vapor tiene varias variaciones; dos de los procesos básicos más importantes son el depósito químico en fase de vapor (CVD) y el depósito físico en fase de vapor (PVD).

El proceso CVD deposita revestimientos inorgánicos sólidos de un gas que reacciona o se descompone a una temperatura elevada. Algunas veces este proceso ocurre en un plasma generado por radiofrecuencia para garantizar la uniformidad térmica y mejorar la calidad de los revestimientos de CVD en un proceso llamado CVD asistido por plasma (PACVD). Los procesos de PVD utilizan pulverización catódica, evaporación y recubrimiento iónico para depositar el revestimiento sobre los filamentos. El equipo para PVD es similar al equipo de CVD, excepto que la cámara no tiene que funcionar a una temperatura alta y no requiere un suministro de gas reactivo.

Usos típicos relacionados con misiles: El equipo para la deposición de elementos en filamentos calentados produce fibras utilizadas en toberas de motores de cohetes y puntas de ojivas de RV.

Otros usos: Este equipo recubre fibras utilizadas en aviones a reacción. El PACVD es actualmente una técnica importante para la fabricación de películas delgadas en la industria de la microelectrónica y se ha aplicado al revestimiento continuo de fibras de carbono.

Apariencia (como se fabrica): Las configuraciones de cámara de CVD y PVD varían mucho. Algunos son tubos largos con sellos en cada extremo que permiten el paso de filamentos, pero no gases. Otros son cámaras grandes, de 2 m a 3 m de lado, con espacio suficiente para contener los carretes de filamentos, equipos de guía de filamentos que incluyen rodillos de extensión y tensión, una zona caliente si es necesario y los gases reactivos. Debido a esta variación, las únicas partes estandarizadas y fácilmente reconocibles del equipo son el sistema de suministro de gas, una gran fuente de alimentación, bombas de vacío y posiblemente la instrumentación que controla la temperatura. En todos los casos, las fuentes de alimentación son de un tamaño y peso sustanciales, típicamente superiores a 0,6 m x 0,9 m x 1,5 m con entradas de agua para refrigeración, bombeo y cortes de seguridad. El equipo de PACVD se parece a un sistema de CVD o PVD convencional, excepto que tiene una fuente de alimentación de radiofrecuencia (RF) para producir el plasma.

Apariencia (como empaquetado): El embalaje varía según el tamaño, el peso y la sensibilidad a los factores ambientales. En general, las versiones de laboratorio del equipo se pueden embalar completamente y enviar por ferrocarril o camión. Sin embargo, incluso las versiones de laboratorio generalmente tienen componentes empaquetados por separado para que los carretes textiles, motores y artículos de vidrio especiales puedan recibir una protección adecuada. Los sistemas más grandes diseñados para uso comercial generalmente se envían como subconjuntos o componentes y se ensamblan en el sitio.

6.B.1.d.

3. Equipo para la hilatura en húmedo de cerámicas refractarias (como el óxido de aluminio);

Naturaleza y propósito: El equipo de hilatura en húmedo se utiliza para producir filamentos largos a partir de una mezcla de líquidos y sólidos. Estos filamentos se procesan adicionalmente para producir filamentos cerámicos de alta resistencia y alta temperatura para compuestos cerámicos o de matriz metálica.

Método de operación: En la hilatura en húmedo de cerámica refractaria, una suspensión de partículas similares a fibras se trata física y químicamente y se introduce en un filamento a través de un orificio llamado hilera. La cámara en la que se crean los filamentos gira o contiene un dispositivo de mezcla interno, cualquiera de los cuales

- Alemania
- Japón
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción global



produce el vórtice en el que se produce el enredo del filamento. El material emerge de la hilera y se solidifica por un cambio de temperatura o químico, dependiendo del sistema aglutinante utilizado en el baño húmedo que rodea la hilera. El baño soporta y estabiliza los filamentos producidos a medida que se enfrían.

Usos típicos relacionados con misiles: El equipo de hilatura en húmedo se utiliza para fabricar fibras cerámicas de alta calidad para puntas de ojivas y toberas de motores de cohetes. Dichas fibras también se utilizan para producir algunas piezas de motores de estatorreactores y turborreactores aplicables a los misiles de crucero.

Otros usos: El equipo de hilatura en húmedo se utiliza para fabricar fibras cerámicas para producir piezas de motores para pequeños motores de turbina de gas, contenedores de procesamiento químico y aplicaciones estructurales de alta temperatura. Las fibras cerámicas o los triquitos se pueden combinar con otros materiales compuestos para mejorar la resistencia y la alta resistencia al calor en muchos productos comerciales.

Apariencia (como se fabrica): Un componente principal del equipo de hilatura en húmedo es la cámara cilíndrica de reacción química. Aunque la cristalería es aceptable para equipos de laboratorio y prototipos de hilatura en húmedo, se utilizan cámaras de reacción de acero inoxidable o revestidas con vidrio para equipos de hilatura en húmedo de calidad de producción. Habitualmente, la cámara está orientada verticalmente y cónica en la parte inferior, donde se encuentran los troqueles que extruyen los filamentos.

Otro equipo asociado con la cámara de reacción química incluye un recipiente cilíndrico (mucho más largo que su diámetro) que contiene la suspensión química a partir de la cual se produce el filamento; un manómetro y una línea de escape de gas unida al recipiente; un conjunto de tubo que contiene secciones de tubos de vidrio fijos y giratorios; una válvula de bola conectada al tubo de vidrio fijo; un motor y controlador para accionar el tubo giratorio; y un rodillo amortiguador y un rodillo de recogida para los filamentos terminados.

Apariencia (como empaquetado): El embalaje es típico de cualquier equipo industrial de tamaño similar. En general, las versiones de laboratorio completamente ensambladas del equipo pueden embalarse y enviarse por ferrocarril o camión. Los componentes de equipos más grandes diseñados para uso comercial se envían en cajas o cajas separadas y se ensamblan en el sitio.

6.B.1.a. e. Equipo diseñado o modificado para el tratamiento especial de la superficie de las fibras o para producir los productos preimpregnados (prepregs) y las preformas, incluidos los rodillos, los tensores, los equipos de revestimiento y de corte y las matrices tipo clicker.

- Francia
- Alemania
- Suecia
- Suiza
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción global



Naturaleza y propósito: El tratamiento de la superficie de la fibra y el equipo de preimpregnado se utilizan para preparar fibras para fabricar materiales compuestos de alta calidad. Los tratamientos superficiales mejoran la adhesión al aumentar el área superficial de la fibra. El preimpregnado agrega suficiente resina a la fibra (o filamentos, cables o cinta) para curarla en un compuesto.

Método de operación: Los filamentos, cables o cintas de fibra que se procesarán en el equipo de tratamiento de superficie se pasan a través de una serie de baños electroquímicos o electrolíticos compuestos de reactivos líquidos para grabar o desbastar las fibras y agregar grupos químicos reactivos. Después del tratamiento de la superficie, se aplica un revestimiento especial llamado apresto a los filamentos de fibra

que protege la fibra durante la manipulación y operaciones posteriores al dimensionamiento, como el tejido. Los materiales se alimentan en rodillos a través de un baño de reactivos en una simple operación de inmersión. El número y la velocidad de los rodillos en el baño determinan cuánto tiempo se graba la pieza o cuánto se conserva el tamaño. Los calentadores se utilizan para modificar la reactividad del sistema de ataque químico, para controlar la viscosidad del baño de apresto, para promover reacciones químicas que estabilicen el apresto y para secar el producto.

Usos típicos relacionados con misiles: Este equipo se utiliza para tratar en superficie varias fibras utilizadas en la fabricación de piezas de misiles para mejorar la unión a los componentes de misiles, como puntas de ojivas, carcasas de motores y toberas de escape.

Otros usos: Este equipo es idéntico al utilizado para fabricar las fibras para todas las aplicaciones comerciales de tecnología compuesta, desde cascos de barcos hasta palos de golf.

Apariencia (como se fabrica): Un banco de laboratorio con rodillos pequeños y pistolas calefactoras es el único equipo necesario para tratar o preimpregnar la fibra en forma prototipo. Para la actividad a nivel de producción, el equipo de manipulación de textiles es mucho más grande, de modo que se pueden tratar varias líneas al mismo tiempo. El proceso también puede involucrar pilas de calentadores de muchas historias de altura. Todos los sistemas tienen rodillos para mantener el material textil en movimiento, mantener la tensión en la fibra y exprimir el exceso de líquido, así como un horno con una ruta compleja sobre los rodillos para que los filamentos atraviesen el horno varias veces.

Apariencia (como empaquetado): El embalaje del equipo, con la excepción de pequeños aparatos de laboratorio, generalmente requiere que los componentes se envíen por separado y se monten en el sitio. La razón es que la base, los tanques para contener productos químicos y el aparato de manipulación de textiles requieren diferentes tipos de protección de embalaje. Los depósitos para productos químicos se pueden empaquetar en cajas corrugadas simples, pero los rodillos, que tienen un acabado superficial especial o de precisión para evitar dañar los filamentos, necesitan amortiguación y montaje rígido en cajas sustanciales. El equipo de control eléctrico, si está incluido, se empaquetará como otros componentes electrónicos frágiles.



Imagen 64: *Izquierda:* Una máquina de preimpregnación construida por el Grupo de materiales compuestos para la producción de materiales de preimpregnación con fibras y resinas. (Katholieke Universiteit Leuven) *Derecha:* Una máquina que agrega resina a siete líneas de cables. (Hunting Engineering, Ltd.)

Nota:

Son ejemplos de los componentes y accesorios para las máquinas especificadas en 6.B.1. los moldes, los mandriles, las matrices, los dispositivos y el utillaje para el prensado de preformación, el curado, la fundición, la sinterización o el enlace de estructuras de materiales compuestos, así como los laminados y productos de las mismas.

6.B.2. Toberas especialmente diseñadas para los procesos mencionados en 6.E.3.

- Francia
- Alemania
- Federación Rusa
- Estados Unidos

Producción global



Naturaleza y propósito: Las toberas para la deposición pirolítica dirigen un gas sin reaccionar a una superficie en la que se desea la deposición. Las toberas deben ser móviles o ubicadas para que puedan cubrir toda la superficie dentro de un horno de CVD a alta temperatura y presión.

Método de operación: Las toberas utilizadas en los hornos de CVD entregan gas frío sin reaccionar a la superficie a tratar. El gas no debe reaccionar para que el revestimiento se produzca en la superficie prevista en lugar de en el interior de la tobera, y cerca de la superficie a tratar para que se rocíe la superficie y no las paredes del horno. Una tobera es como una pistola de pintura, que debe estar cerca de la parte que se pinta.

Usos típicos relacionados con misiles: Estas toberas son partes obligatorias del equipo de deposición pirolítica que se utiliza para fabricar piezas fundamentales altamente tolerantes al calor, como toberas de cohetes, insertos de garganta y puntas de ojivas de RV.

Otros usos: Estas toberas se utilizan para fabricar piezas altamente tolerantes al calor para motores a reacción.

Apariencia (como se fabrica): Las toberas para hornos de CVD están diseñadas para tolerar altas temperaturas del horno, ya sea por construcción de material resistente a altas temperaturas como el grafito o por refrigeración por agua. Las dimensiones de la tobera son aproximadamente la mitad del ancho del horno. Las toberas pequeñas generalmente están hechas de grafito porque es económico, fácil de reemplazar y liviano (aproximadamente 0,5 kg a 2,5 kg). Las toberas más grandes para hornos de producción a menudo están hechas de metal, requieren refrigeración por agua, pueden tener bridas de fijación integrales y pesar más de 25 kg.

Las toberas se hacen en diferentes longitudes, que dependen del tamaño del horno y la superficie. Las toberas más grandes, más complejas, refrigeradas por agua tienen hasta 1,5 m de largo con su porción tubular de 20 cm de diámetro. Sin embargo, debido a que una parte de la mayoría de las toberas está diseñada a medida, no hay una forma o tamaño estándar.

Apariencia (como empaquetado): Se recomienda empaquetar la tobera y el equipo de deposición pirolítica para evitar daños a una tubería altamente duradera con válvulas y accesorios algo frágiles. Por lo general, varias toberas se envían juntas en un embalaje bien protegido, separado de cualquier carcasa de horno grande.

- 6.B.3. Prensas isostáticas que tienen todas las características siguientes:
- Presión de trabajo máxima igual o superior a 69 MPa;
 - Diseñado para lograr y mantener un ambiente térmico controlado de 600oC o más; y
 - Poseer una cavidad de cámara con un diámetro interno de 254 mm o mayor.

- Francia
- Alemania
- Federación Rusa
- Estados Unidos

Producción global



Naturaleza y propósito: Las prensas isostáticas se utilizan para infundir carbono en una preforma de carbono porosa de una tobera de cohete o puntas de ojivas de RV a alta temperatura y presión. Este proceso, denominado densificación, elimina virtualmente los vacíos en la preforma y mejora las propiedades mecánicas y físicas del objeto tratado.

Método de operación: El objeto a procesar se coloca en la cámara apropiada y se baja a la zona caliente del horno. Se realizan todas las conexiones de agua y electricidad y todos los instrumentos de proceso se conectan antes de bajar la tapa al horno y sellarla. A medida que el objeto se calienta, se somete a alta

presión hasta que se haya logrado la densificación adecuada. Los productos de reacción se eliminan mediante tuberías internas para que no entren en contacto con los elementos del calentador.

Usos típicos relacionados con misiles: Las prensas isostáticas se utilizan para fabricar puntas de ojivas para RV e insertos de tobera para motores de cohetes.

Otros usos: Estas prensas se utilizan en la unión por difusión de metales similares, la unión por difusión de metales diferentes para formar laminados (plata-níquel-plata o cobre-inoxidable) y la provisión de juntas sin costuras. Se utilizan en diversas aplicaciones de pulvimetalurgia. También se utilizan para mejorar la calidad de las piezas fundidas y forjadas de metal al forzar hidrostáticamente los defectos para cerrar y unir.

Apariencia (como se fabrica): Las prensas isostáticas destinadas a la densificación se modifican especialmente para funcionar mientras se produce una reacción de pirólisis. Un sistema típico de tamaño de laboratorio tiene cinco componentes principales: un recipiente a presión, un horno interno, manejo de gas, sistemas eléctricos y auxiliares. El recipiente a presión suele ser un cilindro vertical de paredes gruesas con un cierre o tapón extraíble de alta presión, ya sea en los extremos superior o inferior (Imagen 65). Algunas prensas tienen recipientes de presión horizontales.

El horno se encuentra dentro del recipiente a presión y proporciona el calor y el espacio necesarios para el proceso de densificación. Los elementos de calentamiento hechos de grafito, molibdeno o níquel/cromo se usan para calentar la pieza por radiación directa o para calentar el gas inerte que luego calienta la pieza por convección.



Imagen 65: Izquierda: Una prensa isostática de tamaño de laboratorio. (ESPI) Derecha: Una prensa isostática caliente del tamaño de un laboratorio. (Abra Fluid AG)

El equipo de manejo de gas suministra el gas inerte, generalmente argón, para aplicar una fuerza uniforme sobre la parte que se está densificando. La presión de gas se logra usando un compresor. Las presiones de operación pueden variar desde 10 MPa hasta 300 MPa.

Los sistemas eléctricos y auxiliares incluyen un panel de instrumentos con control típico de temperatura industrial y control de presión e instrumentación de grabación. Se incluye un ordenador para ingresar los parámetros de proceso necesarios para controlar el funcionamiento de la prensa.

La prensa puede estar rodeada por un escudo que absorbe energía. Este escudo puede diseñarse en la planta donde opera el sistema y, a menudo, implica instalar la cámara bajo tierra. El recipiente a presión también tiene una cámara de aislamiento y tuberías para asegurarse de que el gas de la zona de proceso se elimine del escape y no fluya hacia la zona del calentador.



Imagen 66: Izquierda: Vista lateral de una gran prensa isostática. (Engineered Pressure Systems, Inc.) Centro y derecha: Dos vistas diferentes de una caja de envío alternativa para una prensa isostática. (Engineered Pressure Systems, Inc.)

Apariencia (como empaquetado): Es probable que los componentes de un sistema de prensado isostático se envíen por separado y se ensamblen en el destino de trabajo final. El embalaje varía según los requisitos del comprador, pero son comunes las paletas y cajas de madera con bandas de acero y refuerzo (Imagen 66). Las cámaras más grandes son muy pesadas debido a las paredes gruesas y pueden empaquetarse en una caja de madera cilíndrica con bandas anchas de acero.

6.B.4. Hornos de depósito químico en fase de vapor diseñados o modificados para la densificación de compuestos de carbono carbono.

- Francia
- Alemania
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción global



Naturaleza y propósito: Los hornos de CVD se usan para infundir carbono en una preforma de carbono porosa de una tobera de cohete o punta de ojiva de RV. Este proceso, denominado densificación, elimina virtualmente los vacíos en la preforma y mejora las propiedades mecánicas y físicas del objeto tratado. Las propiedades finales de los compuestos de carbono-carbono dependen en gran medida del tipo y la orientación de las fibras de carbono en la preforma y los parámetros del proceso utilizados para la densificación.

Método de operación: Los hornos de CVD utilizan procesos isotérmicos o de gradiente térmico para la densificación. El objeto a procesar se coloca en la cámara apropiada y se baja a la zona caliente del horno. Se realizan todas las conexiones de gas,

agua y electricidad, y toda la instrumentación del proceso se conecta antes de que la tapa se baje al horno y se selle. A continuación, el horno se evacua del aire y se calienta a alrededor de 1000 °C. A continuación, se introduce el gas hidrocarbonado, como el gas natural o el metano. El gas se difunde en la preforma, se separa en moléculas componentes y deposita carbono pirolítico en la preforma que llena los huecos. La secuencia del proceso de calentamiento y suministro de los gases de deposición está automatizada. Para el proceso isotérmico, las preformas se mantienen a esta temperatura uniforme durante 30 a 40 días hasta que se obtiene la densidad y la porosidad deseadas del material compuesto.

Usos típicos relacionados con misiles: Los hornos CVD se utilizan para hacer toberas de cohetes de carbono-carbono y puntas de ojivas. Las piezas de carbono-carbono son livianas y fuertes y pueden aumentar el rendimiento del sistema.

Otros usos: Los hornos de CVD se utilizan en ópticas de revestimiento, densificación de materiales de fricción para sistemas de frenado aeroespacial y herramientas de corte, en revestimiento y pulido de superficies de precisión y en la fabricación de semiconductores.

Apariencia (como se fabrica): Los hornos de CVD son recipientes cilíndricos grandes de doble pared con cierres herméticos a los gases. Los hornos de CVD típicos son grandes porque albergan una zona de calor interna, calentadores eléctricos y aislamiento. Los hornos de menos de 1,5 m de altura y 1 m de diámetro se consideran a escala de laboratorio y apenas pueden procesar una punta de ojiva o un inserto de tobera de cohete. Los tamaños de producción del proceso son mayores que 2 m de altura y 2 m de diámetro. Estos hornos tienen varios puertos: al menos un puerto grande para alimentación de energía, otros para instrumentación y, cuando las temperaturas se miden por óptica o pirómetros infrarrojos, uno o más puertos de visualización.

Los hornos de CVD tienen doble pared para que puedan enfriarse con agua durante el funcionamiento. Los cables de alimentación son grandes y también pueden enfriarse con agua. La retorta real se encuentra dentro del horno y se calienta mediante una inducción de grafito o un calentador por resistencia a temperaturas de entre 2200 °C y 2900 °C.



Imagen 67: *Izquierda:* Un horno de CVD personalizado a gran escala que calienta inductivamente el grafito a temperaturas en el rango de 2800 °C. (CVI) *Derecha:* Un gran horno de CVD. (Seco Warick)

En la Imagen 67 se muestra un horno CVD diseñado a medida, que consta de varios componentes, que incluyen un recipiente de impregnación para agregar una resina líquida a la preforma; instrumentación y paneles de control (primer plano); y un horno de carbonización a presión.

Apariencia (como empaquetado): El embalaje consta de palets y cajas para cada parte debido al gran tamaño y peso del equipo. Las tapas grandes, la fuente de alimentación y el cuerpo del horno a menudo tienen puntos de elevación o anillos incorporados para ayudar a moverlos y ensamblarlos.

6.B.5. Equipos y controles de proceso, distintos de los especificados en 6.B.3. o 6.B.4., diseñado o modificado para la densificación y la pirólisis de toberas de cohetes compuestos estructurales y puntas de nariz de vehículos de reentrada.

Naturaleza y propósito: Los equipos especializados y los controles de proceso son esenciales para la densificación y la pirólisis necesarias para producir compuestos estructurales utilizados para toberas de cohetes y puntas de ojivas de RV. A menudo se requiere un programa informático especialmente diseñado para operar el equipo y/o controlar los procesos para producir estos compuestos estructurales. La fabricación de piezas compuestas a partir de este tipo de material generalmente requiere un ciclo a través de varias condiciones de proceso, como alta temperatura y/o presión. El control preciso de las condiciones durante los ciclos y su sincronización es clave para garantizar resultados aceptables. Este artículo también requiere documentación (datos técnicos) de los diversos parámetros del proceso necesarios para producir estos materiales.

Método de operación: El equipo, los controles de proceso y el programa informático para la densificación y la pirólisis se utilizan durante todo el proceso de fabricación para que los compuestos estructurales manipulen, procesen y terminen el material y los productos resultantes (es decir, toberas de cohetes y puntas de ojivas de RV).

Usos típicos relacionados con misiles: Este equipo y controles de proceso, con el programa informático asociado, se utilizan para producir compuestos estructurales (incluidos elementos de carbono-carbono) utilizados para toberas de cohetes y puntas de ojivas de RV.

Otros usos: Estos artículos también se utilizan para la unión por difusión de metales, en la metalurgia de polvos y para el tratamiento de componentes metálicos.

Apariencia (como se fabrica): El equipo se parece a otros equipos de fabricación, pero puede incluir artículos más pequeños (tamaño de investigación). Los controles de proceso pueden tomar la forma de datos técnicos como papel, papel magnético u otros medios.

Apariencia (como empaquetado): Los equipos más grandes pueden enviarse como componentes, mientras que los artículos más pequeños pueden enviarse ensamblados. Estos artículos generalmente se envían en cajas o palets de manera similar a otros equipos industriales. Los controles de proceso (incluidos los datos técnicos) se envían como otra información en papel, magnética u otros medios. El programa informático y los datos técnicos pueden incluirse en los contenedores de envío con sus respectivos equipos.

6.C. Materiales

Prepregs de fibra impregnada de resina y preformas de fibra recubiertas de metal, para los productos especificados en 6.A.1., fabricados con una matriz orgánica o de metal, utilizando refuerzos fibrosos o filamentosos que tengan una resistencia específica a la tracción superior a $7,62 \times 10^4$ m y un módulo específico superior a $3,18 \times 10^6$ m.

Nota:

Los únicos preimpregnados de fibra impregnados de resina especificados en 6.C.1. son aquellos que usan resinas con una temperatura de transición vítrea (T_g), después del curado, superior a 145 °C según lo determinado por ASTM D4065 o equivalentes nacionales.

Notas técnicas:

1. En el artículo 6.C.1. 'resistencia específica a la tracción' es la resistencia a la rotura por tracción medida en pascales, equivalente a N/m^2 divididos por el peso específico en N/m^3 , medido a una temperatura de (296 ± 2) K ((23 ± 2) °C) y a una humedad relativa del (50 ± 5) %.
2. En el artículo 6.C.1. 'resistencia específica a la tracción' es la resistencia a la rotura por tracción medida en pascales, equivalente a N/m^2 divididos por el peso específico en N/m^3 , medido a una temperatura de (296 ± 2) K ((23 ± 2) °C) y a una humedad relativa del (50 ± 5) %.

- Francia
- Alemania
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción
global



Naturaleza y propósito: Los preimpregnados y las preformas son los materiales básicos a partir de los cuales se fabrican estructuras compuestas ligeras y de alta resistencia. Preimpregnado es el nombre dado a un material similar a un paño hecho de fibras e impregnado con resinas. Los preimpregnados se ensamblan sobre una forma (por ejemplo, un mandril o molde) en la forma deseada. A veces se usan varias capas para crear laminados. Las preformas son estructuras sólidas, tridimensionales, de fibra con la misma forma y aproximadamente las mismas dimensiones que la parte deseada e impregnadas con resina. Después del curado, la preforma se mecaniza en la configuración final. Por lo general, los materiales de interés se curan a temperaturas superiores a 175 °C para completar la polimerización de la resina termoestable y para lograr una alta temperatura de transición vítrea.

Método de operación: Los preimpregnados y las preformas son precursores de los compuestos y laminados que se pueden usar en casi cualquier lugar en cohetes y vehículos aéreos no tripulados, incluidos los misiles de crucero. Los usos incluyen carcasas sólidas de motores de cohetes, interetapas, alas, entradas, toberas, protectores térmicos, puntas de ojivas, miembros estructurales y marcos.



Imagen 68: Izquierda: Un cono de ojiva para un vehículo de lanzamiento espacial fabricado con técnicas avanzadas de preimpregnación. (ATK) Derecha: Material preimpregnado utilizado en la fabricación de estructuras aeroespaciales y de defensa compuestas livianas y de alta resistencia. (Ibidem)

Usos típicos relacionados con misiles: Estos materiales se utilizan para producir compuestos estructurales (incluidos elementos de carbono-carbono) utilizados en una gama de aplicaciones aeroespaciales y de defensa, incluidas las toberas de cohetes, misiles, estructuras satelitales y puntas de ojivas de RV.

Otros usos: Los preimpregnados y las preformas permiten que las estructuras compuestas se formen en casi cualquier forma para cumplir con los requisitos. Se utilizan tanto en aviones civiles como militares, productos recreativos (como equipos para deportes acuáticos, esquís y palos de golf), y en infraestructura e industria. También tienen aplicación médica en el diseño de prótesis y dispositivos quirúrgicos.

Apariencia (como se fabrica): Los preimpregnados son productos textiles que están impregnados con una resina flexible. Se fabrican en filamentos delgados, cintas de submilímetros a centímetros de ancho y telas de hasta unos pocos metros de ancho. Por lo general, se almacenan en carretes o en rollos, como hilo o tela (ver Imagen 68, derecha), y se parecen mucho al hilo no impregnado.

Aunque un preimpregnado aún puede deformarse, es considerablemente menos capaz de drapearse que una tela, cinta o hilo que no tiene resina; sin embargo, todos son lo suficientemente deformables como para formar una parte estructural compuesta. Los preimpregnados se pueden usar para formar la forma aproximada de una parte deseada, llamada preforma. En la Imagen 9, a la izquierda, se muestra un cono de ojiva fabricado con una colocación avanzada de la mano preimpregnado. Después de calentar y curar, estas preformas se mecanizan a sus formas y acabados finales.

Apariencia (como empaquetado): El preimpregnado se envía en múltiples bolsas de plástico con láminas de refuerzo en ambos lados del material para evitar que se doble o arrugue. La bolsa exterior actúa como una barrera de vapor/humedad y contiene un desecante para mantener una humedad relativa del 50 % o menos. Los materiales fibrosos deben refrigerarse después de la impregnación con resina. La refrigeración evita que la resina se polimerice y endurezca antes de que el preimpregnado se use para fabricar materiales compuestos. Si la temperatura se mantiene a aproximadamente -20°C , la vida útil del preimpregnado es de aproximadamente seis meses. Para mantener temperaturas suficientemente bajas durante el envío, el material preimpregnado se empaqueta en contenedores especiales para enfriamiento con hielo seco (Imagen 69), o se envía en contenedores de carga refrigerados mecánicamente.

- 6.C.2. Materiales pirolizados resaturados (es decir, carbono-carbono) que tienen todo lo siguiente:
- Diseñado para sistemas de cohetes; y
 - Utilizable en los sistemas especificados en 1.A. o 19.A.1.

- Brasil
- Francia
- India
- Japón
- Ucrania
- Estados Unidos
- China
- Alemania
- Israel
- Federación de Rusia
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: El carbono-carbono es un compuesto de fibra de carbono, típicamente hecho de brea, rayón o poliacrilonitrilo (PAN), en una matriz dominada por el carbono. Por lo general, se produce utilizando una resina de carbono de alto contenido como matriz inicial y luego expulsando los elementos sin carbono con alto calor. Es liviano, altamente resistente al calor, resistente al choque térmico y maleable para dar forma.

Usos típicos relacionados con misiles: Los materiales de carbono-carbono se utilizan para elementos como los conos y toberas de salida del motor de cohete, y las puntas de ojivas del vehículo de reentrada (RV), los escudos térmicos y los bordes delanteros de las superficies de control que deben resistir los efectos de las altas temperaturas y la ablación.

Otros usos: Las estructuras de carbono-carbono se utilizan en aplicaciones de aeronaves militares y civiles, como zapatas de freno de alta temperatura, y en otras aplicaciones que requieren una alta resistencia y bajo peso, como las raíces de las alas. También se pueden usar para herramientas que requieren una larga vida en entornos de fabricación severos, generalmente de alta temperatura, como cucharas de colada para acero, calentadores para hornos de muy alta temperatura y herramientas de prensado en caliente.



Imagen 69 Izquierda: Contenedor de cartón especial para guardar el hielo seco en un carrete de cinta preimpregnada de fibra de carbono durante el envío. El hielo seco normalmente está contenido en una bolsa de plástico empacada alrededor del carrete. (Manual para el anexo de doble uso del Grupo de Proveedores Nucleares, Informe n.º LA-13131-M (abril de 1996) Izquierda: Un bloque de material de carbono-carbono listo para ser mecanizado en una tobera de cohete. El bloque cilíndrico más grande tiene aproximadamente 70 cm de diámetro. (Ibid) Derecha: Una garganta de tobera de cohete de carbono-carbono que muestra el patrón de tejido de las fibras subyacentes. (Ibidem)

Apariencia (como se fabrica): Los materiales típicos de carbono-carbono diseñados para los sistemas de cohetes son negros y tienen una superficie estampada como resultado del refuerzo textil. Las puntas de ojivas y las toberas de cohete generalmente se mecanizan a partir de bloques o tochos.

Apariencia (como empaquetado): Antes del mecanizado, los bloques de material de carbono-carbono son lo suficientemente resistentes como para ser empacados en relleno y enviados en cajas de cartón. Las piezas mecanizadas requieren un embalaje cuidadoso porque, aunque el material es resistente a la rotura (resistente al impacto), se pueden rasgar o raspar fácilmente.

6.C.3. Grafitos de granulometría fina con una densidad aparente de 1,72 g/cc medida a 15°C y con un tamaño de grano de 100×10^{-6} m (100 μ m) o menos, utilizables en toberas de cohetes y puntas de ojivas para vehículos de reentrada con los que se puedan manufacturar cualquiera de los siguientes productos:

- a. Cilindros que tienen un diámetro de 120 mm o más y una longitud de 50 mm o más;
- b. Tubos que tengan un diámetro interior de 65 mm o más y un espesor de pared de 25 mm o más y una longitud de 50 mm o más; o
- c. Bloques que tienen un tamaño de 120 mm x 120 mm x 50 mm o mayor.

Naturaleza y propósito: El grafito a granel recristalizado de grano fino se utiliza para crear piezas muy fuertes y resistentes al calor. El grafito es la única sustancia conocida que duplica su resistencia a medida que la temperatura aumenta de la temperatura ambiente a 2700 °C. Las partículas de carbono se combinan con brea, un residuo viscoso de alquitrán de hulla, en un molde adecuado y se someten a calor y presión. El bloque resultante se puede mecanizar fácilmente en la pieza requerida. También tiene una excelente resistencia al choque térmico y buena conductividad térmica y eléctrica. El grafito pirolítico se forma por deposición de vapor a alta temperatura, pero no se usa ampliamente porque su conductividad térmica desigual hace que se agriete cuando se calienta.

Usos típicos relacionados con misiles: El grafito a granel recristalizado de grano fino se usa para puntas de ojivas de RV, aletas de empuje y gargantas de tobera. Un tocho típico para una punta de ojiva puede ser tan pequeño como varios centímetros en cada dimensión.

Otros usos: El grafito se utiliza en aplicaciones biomédicas, en reactores nucleares, como molde para fundir y fabricar piezas metálicas, y para accesorios de hornos de dimensiones críticas. El grafito también es el material preferido para los electrodos para el mecanizado de descarga eléctrica sin cables. Cuando se infiltra con metales, el grafito se usa para cepillos en motores eléctricos y como cojinetes en muchas aplicaciones mecánicas.

Apariencia (como se fabrica): El grafito a granel es un polvo muy fino de gris oscuro a negro. La densidad del grafito procesado varía de 1,64 g/cc a 2,7 g/cc, este último para el grafito pirolítico. Las piezas mecanizadas hechas de grafito son negras y tienen un brillo que depende de la operación de mecanizado.



Imagen 70: Varias piezas mecanizadas de grafito a granel de grano fino. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

- Brasil
- China
- India
- Federación Rusa
- Estados Unidos

Producción
global



Los grafitos de grano fino se pueden distinguir por su falta de picaduras en la superficie y algunos de los detalles finos que a menudo se encuentran en el producto fabricado. El grafito es mucho más suave que los metales; un bolígrafo puede abollar la superficie.

Apariencia (como empaquetado): Estos materiales se empaquetan para proteger sus delicadas superficies y, a menudo, para evitar cualquier contaminación superficial. Por lo general, las piezas se colocan en bolsas o recipientes de plástico, que se empaquetan en materiales que normalmente se usan para piezas frágiles (es decir, plástico de burbujas, espuma, etc.).

6.C.4. Grafitos pirolíticos o fibrosos reforzados utilizables para toberas de cohetes y puntas de ojivas vehículos de reentrada utilizables en sistemas especificados en 1.A. o 19.A.1.

- China
- Estados Unidos

Producción
global



Naturaleza y propósito: El grafito pirolítico es una forma única de grafito. Se fabrica descomponiendo gas hidrocarbonado, típicamente metano, en un horno de vacío a altas temperaturas. El resultado es un producto excepcionalmente puro que se aproxima a la densidad teórica y es altamente anisotrópico como resultado de su estructura en capas. A través de las capas (plano C), tiene una conductividad térmica muy baja y actúa como aislante. A lo largo de las capas (plano A-B), tiene una conductividad térmica muy alta y actúa como un excelente conductor. Sus propiedades térmicas, eléctricas y mecánicas son comúnmente muy superiores al grafito convencional. El grafito pirolítico es químicamente inerte, estable a

3000 °C, impermeable, autolubrificante, sin polvo y de bajo peso. Sin embargo, su conductividad térmica desigual y la tendencia resultante al agrietamiento restringe ciertas aplicaciones.

Método de operación: Para fabricar grafito pirolítico, el material superficial subyacente sobre el que se deposita el grafito pirolítico se calienta a una temperatura relativamente alta, que oscila entre aproximadamente 1500 °C y 2.500 °C. El gas de hidrocarburo se introduce a temperatura elevada y presión reducida. El resultado es que el grafito pirolítico forma una capa ablativa (que puede quemarse de manera controlada) y aislante que puede soportar el calor de un motor de cohete.

Usos típicos relacionados con misiles: El grafito pirolítico tiene una variedad de aplicaciones aeroespaciales y de defensa debido a su capacidad para soportar temperaturas extremadamente altas y choque térmico. En particular, se utiliza en el diseño y fabricación de toberas de cohetes, en los conos de ojiva de RV y en los protectores térmicos.

Otros usos: Las excepcionales propiedades de conducción del grafito pirolítico ofrecen soluciones útiles para la disipación de calor en la electrónica de potencia de semiconductores de alto flujo de calor, como RF e inalámbrico, diodos emisores de luz (LED), diodos láser, semiconductores de gran espacio y tapas de circuitos integrados.

El grafito pirolítico también se utiliza en la fabricación de troqueles y herramientas de formación que dan forma al vidrio semifundido, así como a elementos calefactores, objetivos de pulverización catódica y aisladores térmicos. El grafito pirolítico también es utilizado por fabricantes de vidrio especializados, así como también en envases de vidrio y copas.

Apariencia (como se fabrica): La densidad del grafito procesado varía de 1,64 g/cc a 2,7 g/cc. En forma de polvo, es de color gris oscuro a negro. En las piezas fabricadas, el color es negro y el grado de brillo depende del proceso de mecanizado. Las superficies están picadas.



Imagen 71: Una selección de placas y varillas de grafito pirolítico de alta densidad, resistencia y pureza. Observe la superficie picada en la placa grande a la izquierda de esta imagen. (Advanced Carbon Technologies, Inc)

Apariencia (como empaquetado): El peligro de agrietamiento al que es susceptible el grafito pirolítico requiere que esté bien embalado, con componentes generalmente colocados en bolsas de plástico o contenedores, rodeados de plástico de burbujas o espuma.

6.C.5. Materiales compuestos cerámicos (constante dieléctrica inferior a 6 a cualquier frecuencia de 100 MHz a 100 GHz) para uso en radomos de misiles utilizables en sistemas especificados en 1.A. o 19.A.1.

- China
- Alemania
- Japón
- Estados Unidos
- Francia
- India
- Federación de Rusia



Naturaleza y propósito: Los materiales compuestos cerámicos tienen resistencia y propiedades térmicas suficientes para algunos usos como materiales de protección térmica. Sin embargo, a diferencia de los materiales a base de carbono, las cerámicas son aislantes y no conducen electricidad mientras que la radiación electromagnética (por ejemplo, radar u ondas de radio) puede pasar a través de ellas. Son útiles para proteger estructuras y equipos del calentamiento aerodinámico al tiempo que permiten transmitir o recibir señales.

Los compuestos cerámicos reforzados con carburo de silicio son adecuados para usarse a 1200 °C en una atmósfera oxidante y a una temperatura algo más alta si están recubiertos. Los compuestos de carburo de silicio reforzados con filamentos tienen una alta tenacidad a la fractura y son considerablemente más livianos que las superaleaciones. Estas características hacen utilizables para radomos de misiles.

Usos típicos relacionados con misiles: Se han utilizado materiales compuestos cerámicos en ventanas de antenas de RV de misiles balísticos. Las puntas de ojivas de cerámica sin cocer de carburo de silicio son duras y altamente resistentes al calor; sin embargo, debido a que tienden a astillarse, pero no a romperse, no se usan ampliamente.

Otros usos: Las cerámicas altamente resistentes al calor se utilizan en algunos motores de turbina de gas, motores de automóviles, hornos y receptores de energía solar. Sus usos incluyen barras y bolas de molienda, baldosas para hornos, vasos y toberas de soldadura, toberas de chorro de arena y una variedad de piezas intrincadas para aplicaciones electrónicas. Son un material de herramientas común para su uso en etapas de fabricación a temperaturas elevadas. Los compuestos cerámicos reforzados con carburo de silicio se utilizan en algunos motores de reacción militares para aletas de control de vector de empuje.

Apariencia (como se fabrica): Los materiales compuestos cerámicos utilizados en las ventanas de antena de RV generalmente usan refuerzo de filamentos cerámicos para evitar fallas inducidas por el estrés térmico. Un bloque de sílice-sílice tridimensional (3-D) a partir del cual se hacen las ventanas de antena puede tener un patrón textil evidente en todas las superficies. Este material a menudo está revestido con una capa protectora transparente como barrera contra la humedad. Una cerámica reforzada con carburo de silicio tiene el mismo patrón, pero es gris oscuro o negro. Todos estos materiales cerámicos son muy duros, mucho más duros que otros compuestos, y tienen una superficie con un diseño similar al refuerzo textil. Se pueden encontrar en prácticamente cualquier tamaño entre discos de 1 mm y cubos de 50 cm, que pueden cortarse y rectificarse según la configuración requerida mediante herramientas de diamante.

Apariencia (como empaquetado): Debido a su alto costo y fragilidad, estos compuestos están embalados en materiales absorbentes de golpes. Dado que el material de sílice-sílice también es higroscópico (es decir, absorbe agua), también se empaqueta en bolsas selladas de Mylar u otro plástico, a menudo con algún tipo de desecante en el contenedor de empaque más grande. Algunos transportistas también llenan las bolsas selladas con nitrógeno seco para proteger el material de la absorción de agua.

6.C.6. Materiales cerámicos de alta temperatura de la siguiente manera:

- a. Cerámica bruta reforzada de carburo de silicio, sin cocción, que admite tratamiento mecánico y es utilizable en puntas de ojiva en sistemas especificados en 1.A. o 19.A.1.;
- b. Compuestos cerámicos reforzados de carburo de silicio utilizables para puntas de ojivas, vehículos de reentrada, aletas de tobera, utilizables en sistemas especificados en 1.A. o 19.A.1.
- c. Materiales compuestos (composites) cerámicos brutos mecanizables consistentes en una matriz de 'cerámica de temperatura ultra alta (UHTC)' con un punto de fusión igual o superior a 3 000 °C y reforzados con fibras o filamentos, que se puedan usar en componentes de misiles (tales como puntas de ojiva, vehículos de reentrada, bordes de ataque, paletas, superficies de control o insertos de cuello de motores de cohetes) en los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2.

Nota:

Artículo 6.C.6.c. no somete a control los materiales de 'cerámica de temperatura ultra alta (UHTC)' en forma no compuesta.

Nota técnica:

La 'cerámica de temperatura ultra alta (UHTC)' incluye:

1. Diboruro de titanio (TiB₂);
2. Diboruro de circonio (ZrB₂);
3. Diboruro de niobio (NbB₂);
4. Diboruro de hafnio (HfB₂);
5. Diboruro de tantalio (TaB₂);
6. Carburo de titanio (TiC);
7. Carburo de circonio (ZrC); Carburo de niobio (NbC);
9. Carburo de hafnio (HfC);
10. Carburo de tantalio (TaC).

- | | |
|------------------|---------------------|
| •Austria | •Brasil |
| •China | •Francia |
| •Alemania | •India |
| •Italia | •Japón |
| •Federación Rusa | •República de Corea |
| •Suiza | •Reino Unido |
| •Estados Unidos | |

Producción global



Naturaleza y propósito: El carburo de silicio es un compuesto de silicio y carbono utilizado en la fabricación de materiales cerámicos fuertes. También se encuentra en el raro mineral moissanita. Cuando el carburo de silicio en polvo se calienta por debajo de su punto de fusión en un proceso llamado "sinterización", las partículas se adhieren entre sí para formar cerámicas extremadamente duras con propiedades de alta resistencia. Los compuestos cerámicos que han sido reforzados por el carburo de silicio pueden soportar temperaturas de hasta 1200 °C en condiciones de oxidación.

La cerámica de temperatura ultraalta (UHTC) es una clase de materiales que se pueden usar en entornos que exhiben temperaturas extremas, reactividad química (oxidación) y ataque erosivo.

Los UHTC se puede definir para tener puntos de fusión superiores a 3000 °C. Los materiales compuestos de UHTC utilizan fibras o filamentos de materiales como el carburo de boro o el carburo de silicio para reforzar estos materiales cerámicos.

Método de operación: Las propiedades fundamentales del carburo de silicio son baja densidad, alta resistencia, baja expansión térmica, alta conductividad térmica, alta dureza, excelente resistencia al choque térmico e inercia química superior.

Los puntos de fusión más altos de UHTC y el uso de refuerzo de fibra (compuesto) pueden mitigar algunos de los inconvenientes tradicionales asociados con otras cerámicas, incluida la tendencia a fracturarse bajo tensiones térmicas y una menor resistencia a la oxidación. Entre los más prometedores hasta la fecha están aquellos que usan diboruros y carburos de metales de transición temprana, que incluyen diboruro de titanio (TiB₂), carburo de hafnio (HfC) y carburo de tantalio (TaC).



Imagen 72: Los revestimientos de carburo de silicio tienen una gama de aplicaciones espaciales y aeroespaciales, incluida la protección del material de grafito contra la oxidación. (Schunk Group)

Usos típicos relacionados con misiles: El carburo de silicio se usa en toberas de motores de cohetes, conos de ojiva y aletas de tobera. También se utiliza en ventanas de antenas de RV de misiles balísticos. Su capacidad para soportar fuertes choques térmicos le permite ser utilizado como escudo térmico y su no conductividad de electricidad y radiación electromagnética protegen a las naves espaciales del calor al tiempo que permiten comunicaciones continuas con la estación de control en tierra. Un revestimiento de carburo de silicio protege contra la oxidación de los paneles reforzados de carbono-carbono a lo largo de los bordes de ataque y conos de ojiva de los RV. Los compuestos que contienen carburo de silicio y reforzados con filamentos son altamente duraderos,

resistentes al calor y más livianos que las súper aleaciones; estas características son extremadamente importantes en los conos de ojiva diseñados para reentrar a la atmósfera terrestre.

Los compuestos de UHTC se pueden usar como puntas de ojiva para vehículos de reentrada, insertos de agujeros de motor de cohete de propulsante sólido, paletas y superficies de control. Una característica atractiva de los compuestos de UHTC es una menor densidad (y, por lo tanto, peso) en comparación con los metales refractarios que podrían reemplazar, como el tungsteno y el renio, lo que permite un mayor rendimiento de rango/carga útil del sistema de misiles.



Imagen 73: Una capa de UHTC compuesta de tres secciones diferentes con diferentes composiciones de UHTC (Manual de compuestos de cerámica)

Otros usos: Las cualidades abrasivas, el bajo costo y la durabilidad del carburo de silicio son útiles en el trabajo lapidario, así como en las funciones de mecanizado abrasivo como el arenado, el pulido, el corte por chorro de agua y la molienda. El carburo de silicio se utiliza en armaduras compuestas, así como en el revestimiento cerámico de chalecos antibalas. La armadura corporal recientemente desarrollada fabricada con pequeñas placas de cerámica de carburo de silicio superpuestas brinda al usuario una mayor flexibilidad y es resistente a las balas disparadas desde un AK-47.

Los compuestos cerámicos que se han reforzado con carburo de silicio se utilizan como aletas de control de vector de empuje en algunos motores de reacción militares. El carburo de silicio es un componente importante de los diodos emisores de luz (LED). Su bajo coeficiente de expansión térmica, alta dureza y propiedades conductoras térmicas se utilizan en la fabricación de espejos para telescopios astronómicos. El compuesto también se usa en algunos motores automotrices, turbinas de gas, hornos y paneles de energía solar pasiva. Se encuentra en azulejos de hornos, copas de soldadura y en aplicaciones industriales que funcionan a altas temperaturas.

Las cerámicas de temperatura ultraalta que usan dibóridos de hafnio y circonio son de particular interés para la industria aeroespacial para aplicaciones punteras que requieren estabilidad química y estructural a temperaturas de operación extremadamente altas. El vuelo hipersónico sostenido está limitado por los materiales debido al alto flujo de calor en áreas pequeñas; alta temperatura, oxidación, erosión y; gradientes de temperatura muy alta dentro del material. El uso de UHTC para conducir energía a través del material e irradiarlo a través de superficies más frías es un método alternativo para controlar el calor para las superficies de control hipersónico.

Apariencia (como se fabrica): Los materiales compuestos cerámicos producidos como componentes de cohetes, por ejemplo, ventanas de antenas de RV, están reforzados con filamentos cerámicos para evitar fallas como resultado del estrés causado por el calor. La sílice-sílice tridimensional utilizada para hacer ventanas de antena puede tener un patrón textil en todas las superficies. Para evitar la humedad, este material a menudo está protegido con un revestimiento transparente. Las cerámicas reforzadas con carburo de silicio exhibirán el mismo patrón de superficie, pero el color es negro o gris oscuro. Estas sustancias cerámicas son mucho más duras que otros compuestos y poseen un patrón de superficie que refleja su refuerzo textil. El tamaño varía desde discos de 1 mm hasta cubos de 50 cm que posteriormente se pueden cortar o moldear a la forma deseada.

Apariencia (como empaquetado): El carburo de silicio es un compuesto quebradizo y, por lo tanto, se utilizan sustancias absorbentes de impactos para empacar compuestos de carburo de silicio. Se usan bolsas selladas u otros plásticos para evitar la exposición a la humedad durante el envío. Los envíos más grandes a menudo contienen desecantes. Las bolsas selladas a veces se llenan con nitrógeno seco para proporcionar protección adicional contra la absorción de agua.

6.C.7. Materiales para la fabricación de componentes de misiles en los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2., como sigue:

- a. Tungsteno y aleaciones en forma de partículas con un contenido de tungsteno de 97 % en peso o más y un tamaño de partícula de 50×10^{-6} m (50 μ m) o menos;
- b. Tungsteno y aleaciones en forma de partículas con un contenido de tungsteno de 97 % en peso o más y un tamaño de partícula de 50×10^{-6} m (50 μ m) o menos;
- c. Materiales de tungsteno en forma sólida que tengan todo lo siguiente:
 1. Cualquiera de las siguientes composiciones materiales:
 - i. Tungsteno y aleaciones que contengan 97 % en peso o más de tungsteno;
 - ii. Cobre tungsteno infiltrado que contiene 80 % en peso o más de tungsteno; o
 - iii. Tungsteno infiltrado en plata que contiene 80 % en peso o más de tungsteno; y
 2. Capaz de ser mecanizado para cualquiera de los siguientes productos:
 - i. Cilindros que tienen un diámetro de 120 mm o más y una longitud de 50 mm o más;
 - ii. Tubos que tengan un diámetro interior de 65 mm o más y un espesor de pared de 25 mm o más y una longitud de 50 mm o más; o
 - iii. Bloques que tienen un tamaño de 120 mm x 120 mm x 50 mm o mayor.

- Alemania
- Japón
- Federación Rusa
- Estados Unidos

Producción
global



Naturaleza y propósito: El tungsteno y el molibdeno son elementos que pertenecen a una clase de metales refractarios. Las propiedades comunes de estos metales refractarios son los puntos de fusión por encima de 2000 °C, densidad relativamente alta, inercia química y resistencia a la deformación por fluencia en entornos de alta temperatura. Debido al alto punto de fusión de estos materiales, los procesos de metalurgia de polvos son el método de fabricación preferido.

El tungsteno y las aleaciones que contienen tungsteno en forma de polvo proporcionan propiedades únicas para producir componentes de misiles. El muy alto punto de fusión del tungsteno (3422 °C), la capacidad de controlar la porosidad de la pieza

y su resistencia a la auto-difusión lo hacen ideal para áreas en la tobera del cohete que deben operar en condiciones extremas, como insertos de garganta. El molibdeno y las aleaciones que contienen molibdeno en forma de polvo a menudo se usan donde el ambiente lo permite (su punto de fusión es 2623 °C) ya que es menos costoso y más liviano que el tungsteno.

El tungsteno en forma sólida puede infiltrarse con cobre o plata. El material compuesto resultante es más liviano que el tungsteno puro, se mecaniza más fácilmente y resiste la ruptura del choque térmico debido a la mayor conductividad térmica proporcionada por el material infiltrado.

Usos típicos relacionados con misiles: Las aleaciones de tungsteno y molibdeno se usan en sistemas de misiles para palets de control de vectores, insertos de tobera y garganta, escudos deflectores de plumas y puntas de ojiva de RV.

Otros usos: El polvo de tungsteno se usa en trabajos de evaporación de metal, sellos de vidrio a metal, contactos eléctricos y como elemento de aleación para acero. Las herramientas de corte con recubrimiento de carburo de tungsteno son fundamentales para la industria del trabajo del metal, la minería y el petróleo. El tungsteno infiltrado con cobre también se utiliza para soldar electrodos, contactos eléctricos de alto voltaje y algunas aplicaciones para electrodos de mecanizado por descarga eléctrica (EDM) que requieren detalles más nítidos y un acabado superficial superior. El molibdeno se usa principalmente como un elemento de aleación para la producción de acero. Otras aplicaciones incluyen elementos de calentamiento para hornos y como aditivo para lubricantes de alta temperatura.

Apariencia (como se fabrica): El tungsteno, el molibdeno y sus aleaciones como partículas esféricas o atomizadas se parecen a muchos otros productos de pulvimetalurgia. Las partículas tienen un brillo metálico y fluyen libremente debido a su forma esférica. El tungsteno en forma sólida es un metal lustroso blanco plateado que se empaña en el aire formando un revestimiento protector de óxido.

Apariencia (como empaquetado): Estos materiales, en forma de partículas, se empaquetan en contenedores o tambores sellados para minimizar el contacto con el aire y la oxidación de la superficie de las partículas. Los contenedores se sienten pesados para su tamaño y se aseguran a una paleta o contenedor para evitar el movimiento.

6.C.8 Acero martensítico, utilizable en los sistemas especificados en 1.A. o 19.A.1., que tengan todo lo siguiente:

- a. a. Resistencia a la tracción máxima, medida a 20 °C, igual o mayor que:
 1. 0,9 GPa en la fase de recocido de la solución; o
 2. 1,5 GPa en la etapa de endurecimiento por precipitación; y
- b. b. Cualquiera de las siguientes formas:
 1. Hojas, láminas o tubos de grosor de las paredes o las láminas igual o inferior a 5,0 mm; o
 2. Formas tubulares con un espesor de paredes igual o inferior a 50 mm y con un diámetro interior igual o superior a 270 mm.

Nota técnica:

Los aceros martensíticos son aleaciones de hierro:

- a. a. *que se caracterizan generalmente por su alto contenido en níquel, su muy bajo contenido en carbono y el uso de elementos o precipitados de sustitución para reforzar la aleación y producir su endurecimiento por envejecimiento; y*
- b. b. *que se someten a ciclos de tratamiento térmico para facilitar el proceso de transformación martensítica (fase de recocido de la solución) y, posteriormente, endurecidos por envejecimiento (fase de endurecimiento de la precipitación).*

- Austria
- Francia
- Alemania
- Irán
- Japón
- Sudáfrica
- Suecia
- Reino Unido
- China
- Georgia
- India
- Israel
- Federación Rusa
- República de Corea
- Suiza
- Estados Unidos

Producción global



Naturaleza y propósito: El acero martensítico se caracteriza por su alta resistencia a la tracción y su buena tenacidad a la fractura, a la vez que mantiene su maquinabilidad, maleabilidad y soldabilidad. Los aceros martensíticos difieren de los aceros convencionales en que utilizan la precipitación de compuestos intermetálicos en lugar de carbono para lograr la resistencia deseada. Las formulaciones típicas de acero martensítico tienen un contenido de níquel relativamente alto (18 % o más). Los compuestos intermetálicos provienen de la adición de cobalto, molibdeno y titanio. El contenido de carbono (menos del 0,03 %) se mantiene para todas las calidades de acero martensítico.

Usos típicos relacionados con misiles: Los formularios controlados por el MTCR (hojas, placas y los tubos) se usan generalmente para fabricar carcasas sólidas de motores de cohetes, tanques de propulsores y componentes interetapas.

Otros usos: Estos aceros se utilizan en piezas especiales de aviones, cascos submarinos, paletas de esgrima, tuberías y reactores en las industrias química y nuclear.

Apariencia (como se fabrica): El acero martensítico tiene un color gris brillante cuando está limpio y recién preparado.

Si el metal ha sido sometido a un tratamiento de envejecimiento para mejorar la resistencia, puede tener una capa de óxido oscuro en la superficie. Esta capa oscura también puede indicar que el acero martensítico ha sido sometido a un grado controlado de oxidación para mejorar la resistencia a la corrosión durante el servicio.

Apariencia (como empaquetado): El acero martensítico a menudo se envía en condiciones de baja resistencia y sin tratamiento térmico para que el usuario final pueda darle la forma deseada. Está empaquetado y enviado de manera muy similar al acero inoxidable, al que se parece mucho. Las hojas y los platos se apilan y aseguran a un palet. Los tubos también están agrupados y asegurados a un palet. Ambos pueden estar cubiertos con láminas de plástico y/o embalados para proteger los materiales del entorno de envío.

6.C.9. Acero inoxidable dúplex estabilizado con titanio (Ti-DSS) utilizable en los sistemas especificados en 1.A. o 19.A.1. y que tiene todo lo siguiente:

a. a. Tener todas las siguientes características:

1. Con un contenido de 17,0 - 23,0 % en peso de cromo y 4,5 - 7,0 % en peso de níquel;
2. Con un contenido de titanio superior al 0,10 % en peso; y
3. Que tenga una microestructura ferrítica-austenítica (también denominada microestructura en dos fases) de la cual al menos un 10 % en volumen (de acuerdo con la norma ASTM E-1181-87 o normas nacionales equivalentes) sea austenítica; y

b. b. Cualquiera de las siguientes formas:

1. Lingotes o barras con un tamaño de 100 mm o más en cada dimensión;
2. Hojas con una anchura de 600 mm o más y un espesor de 3 mm o menos; o
3. Tubos con un diámetro exterior de 600 mm o más y un espesor de la pared de 3 mm o menos.

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

Global
Producción



Naturaleza y propósito: El acero inoxidable dúplex estabilizado de titanio (Ti-DSS) es una aleación especial de acero inoxidable que destaca por su facilidad de soldadura y resistencia a los oxidantes corrosivos de los propulsores líquidos. Las formulaciones típicas para Ti-DSS varían del 17 % al 23 % en peso de cromo y del 4,5 % al 7,0 % en peso de níquel, y dicho acero contiene trazas de titanio que, en comparación con otros aceros inoxidables, hace que el Ti-DSS sea particularmente resistente a oxidantes como el ácido nítrico de humo rojo inhibido (IRFNA). Además, Ti-DSS es un material preferido para aplicaciones de misiles de propulsante líquido porque se suelda fácilmente utilizando tecnología de soldadura común y, a diferencia de otras formas de acero inoxidable, no requiere tratamiento térmico después de la soldadura.

Usos típicos relacionados con misiles: Los lingotes o barras, láminas y tubos que cumplen con los criterios MTCR son de tamaño suficiente para ser usados para fabricar tanques de propulsores líquidos y tuberías de motores de cohetes.

Otros usos: Hay muy pocos usos comerciales conocidos para Ti-DSS. Aunque se puede usar para muchas aplicaciones de acero inoxidable, Ti-DSS es muy duro, lo que dificulta la formación de láminas o tubos. Mecanizar o dar forma a este material generalmente es demasiado costoso para aplicaciones comerciales comunes. Además, aunque es especialmente resistente al IRFNA, un oxidante de misiles común, no funciona bien cuando se expone a otros materiales corrosivos similares, como los fertilizantes químicos.

Apariencia (como se fabrica): Ti-DSS es prácticamente idéntico en apariencia a otros aceros inoxidables. Tiene un grano muy fino, que generalmente requiere una lupa o un microscopio para ver.

Apariencia (como empaquetado): Ti-DSS generalmente se incluye y se envía como otros aceros inoxidables. Las hojas y lingotes o barras a menudo se apilan y aseguran a un palet. Por lo general, los tubos también están agrupados y asegurados a un palet. Ambos pueden estar cubiertos con láminas de plástico y/o embalados para proteger los materiales del entorno de envío.

6.D. Programas informáticos

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

- Francia
- India
- Japón
- Federación Rusa
- Suiza
- Estados Unidos
- Alemania
- Italia
- Países Bajos
- Suecia
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: El programa informático para equipos de producción de cabos y fibras se utiliza en dispositivos de CNC que controlan el movimiento de la devanadoras de filamentos, máquinas para la colocación de fibra/cabo y máquinas para el tendido de cintas. La mayoría de estas máquinas proporcionan programa informático de simulación que permite optimizar el movimiento de la máquina fuera de línea. Otro programa informático en esta categoría se utiliza para controlar máquinas de tejer y entrelazar multidireccionales y multidimensionales utilizadas para fabricar estructuras compuestas complejas.

Método de operación: El programa informático está configurado específicamente para operar en CNC conectados a máquinas para el devanado de filamentos, máquinas para la colocación de fibra/cabo

máquinas y máquinas para el tendido de cintas. Las máquinas de tejer y entrelazar multidireccionales y multidimensionales tienen patrones programados almacenados en bases de datos que pueden modificarse para componentes individuales.

Usos típicos relacionados con misiles: El programa informático se puede utilizar para producir carcasas de motores, aletas, toberas, puntas de ojiva de RV, fuselajes y otras partes y componentes para cohetes y UAV.

Otros usos: El programa informático se puede modificar para producir tanques de almacenamiento de gas natural líquido, tanques de agua caliente, tanques de gas natural comprimido, ejes de palos de golf, raquetas de tenis, cañas de pescar y piezas de aviones comerciales y militares.

Apariencia (como se fabrica): La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos 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.

Apariencia (como empaquetado): La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos 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.

6.D.2. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para el equipo especificado en 6.B.3., 6.B.4. o 6.B.5.

- | | |
|---------------|-------------------|
| • China | • Dinamarca |
| • Francia | • Alemania |
| • India | • Israel |
| • Japón | • Federación Rusa |
| • Sudáfrica | • Suecia |
| • Reino Unido | • Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: El programa informático utilizado en el ordenador de control de prensa isostática opera la prensa y controla la presión y la temperatura del refrigerante del agua. El equipo de CVD utiliza programa informático para controlar el proceso de calentamiento y suministro de gases de deposición a la preforma de carbono porosa. El programa informático de control de procesos se utiliza para operar los hornos de pirólisis a alta temperatura y para controlar y controlar los procesos utilizados para producir objetos como toberas de cohetes y puntas de ojiva de RV.

Método de operación: El programa informático utilizado en el ordenador de control de prensa isostática acepta la entrada del operador especificando la presión y el tiempo.

El programa informático activa la prensa y controla la presión de funcionamiento con el tiempo. Controla la temperatura del agua de enfriamiento y el calor del horno para asegurar que el sistema funcione en la zona apropiada y segura para el artículo. El operador del proceso CVD utiliza un ordenador cargada con el programa informático de control de proceso apropiado para establecer la temperatura del horno, establecer la presión y el tiempo del gas de infusión y monitorear la temperatura del agua de enfriamiento y otros instrumentos y salidas de sensores. El control preciso de la temperatura durante un período de tiempo relativamente largo es fundamental para producir toberas de cohetes de carbono-carbono y puntas de ojiva. Programa informático de control de procesos utilizado para producir estructuras. Los materiales compuestos controlan las temperaturas y presiones del horno de pirólisis durante un número de ciclos determinado por el usuario.

Usos típicos relacionados con misiles: El programa informático utilizado para controlar los procesos de densificación y pirólisis se utiliza para fabricar componentes de misiles livianos y altamente resistentes a la temperatura, como las toberas de motores de cohetes y las puntas de ojiva de RV.

Otros usos: El programa informático de control de prensado isostático se utiliza en procesos para unir por difusión materiales similares y diferentes. El programa informático de control de procesos de CVD se utiliza para producir ópticas recubiertas, herramientas de corte, instrumentos médicos y fabricar semiconductores. El programa informático que controla los procesos de densificación y pirólisis también se utiliza para unir metales por difusión y para tratar componentes metálicos.

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

Apariencia (como empaquetado): La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos 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, incluidas las copias en papel de la documentación, es capaz de transmitirse electrónicamente a través de una red informática.

6.E. Tecnología

6.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 6.A., 6.B., 6.C. o 6.D. 6.D.

6.E.2. "Datos técnicos" (incluidas las condiciones de procesamiento) y procedimientos para la regulación de la temperatura, las presiones o la atmósfera en autoclaves o hidroclaves cuando se utilizan para la producción de compuestos o compuestos parcialmente procesados, utilizables para equipos o materiales especificados en 6.A. o 6.C.

- El equipo de autoclave o hidroclave se produce en la mayoría de los países industriales porque se usa en procesos de fabricación comunes. Aunque el conocimiento general de estos procesos es ampliamente conocido, los datos sobre procesos para aplicaciones específicas son de propiedad exclusiva.

Producción global



Naturaleza y propósito: El anexo controla la tecnología para la producción de componentes estructurales, deposición y densificación pirolítica y materiales estructurales como se describe en 6.A, 6.B y 6.C. Esto incluiría el conocimiento para seleccionar adecuadamente las materias primas (fibra, epoxi o sistema de resina, endurecedores) junto con los métodos (instrucciones de proceso y ensamblaje) para producir componentes pirolizados compuestos y resaturados junto con la operación adecuada y mantenimiento de los equipos utilizados. También se controlaría la capacitación sobre el uso de programa informático como se define en 6.D del Anexo y la documentación asociada.

Los datos de control de proceso se utilizan para gestionar el procesamiento de compuestos o compuestos parcialmente procesados en componentes útiles. Los datos técnicos de interés con respecto a autoclaves e hidroclaves generalmente se refieren a parámetros y procedimientos de procesamiento, herramientas y preparación para el curado y el control del curado. Debido a que la configuración precisa del proceso de temperatura, presión y duración tiene un efecto crítico en la resistencia, la resistencia al impacto y el módulo de flexión de las piezas producidas, los fabricantes han desarrollado procesos patentados. Raramente divulgan la información para la producción de piezas específicas. Las condiciones de procesamiento, los períodos de reducción y los procedimientos relacionados generalmente se adaptan individualmente para la geometría específica de la pieza y el sistema de material/resina empleado.

Método de operación: Estos datos se utilizan como guía para hacer o procesar parcialmente piezas compuestas específicas en autoclaves e hidroclaves. El control de la curación puede ser realizado por un operador humano, pero se realiza más comúnmente por ordenador debido al tiempo requerido para el proceso. Este último puede basarse en el ciclo de proceso prescrito por el fabricante del equipo o en una combinación de modelos de proceso analítico, sensores en o cerca de la parte que se procesa y el conocimiento del proceso integrado en el sistema.

Usos típicos relacionados con misiles: Estos datos son parte de las instrucciones para preparar la preforma o el compuesto para su uso como componentes altamente tolerantes al calor y ablativos, como las puntas de ojiva de RV y las toberas de motor de cohete.

Otros usos: Se utilizan procesos y procedimientos similares para hacer los materiales para aplicaciones comerciales de tecnología compuesta, desde cascos de barcos hasta palos de golf.

Apariencia (como se fabrica): En general, los datos técnicos pueden tomar la forma de copias heliográficas, planos, diagramas, modelos, fórmulas, diseños y especificaciones de ingeniería, y manuales e instrucciones escritos o grabados en otros medios o dispositivos, como discos, cintas, unidades USB y memorias de solo lectura. Estos datos generalmente se proporcionan en manuales y gráficos como parte de la documentación del fabricante de la autoclave o del hidroclave, o como parte de las recomendaciones del fabricante de la resina. La documentación del fabricante se refiere a cada uno de los subcomponentes y compila especificaciones y manuales de instrucciones para cada uno de ellos. Estos componentes incluyen elementos como controladores de estado sólido u ordenadores para controlar y monitorear la temperatura y la presión durante la operación de curado.

Apariencia (como empaquetado): Los datos que acompañan al equipo y que contienen la información de curación generalmente se colocan en libros de hojas sueltas o en un conjunto de instrucciones recopiladas. La documentación tiene un formato de informe y acompaña a los nuevos equipos. Los datos suministrados por los fabricantes de resina o material preimpregnado se encuentran en las hojas de datos y acompañan a la resina cruda o al material preimpregnado.

6.E.3. "Tecnología" para la "producción" de materiales derivados pirolíticamente formados en un molde, mandril u otro sustrato a partir de gases precursores que se descompongan entre 1.300 300 °C y 2.900 900 °C de temperatura a presiones de 130 Pa a 20 kPa, incluyendo la "tecnología" para la composición de gases precursores, caudales y los programas y parámetros de control de procesos.

Naturaleza y propósito: La deposición pirolítica es un proceso a alta temperatura que se utiliza para depositar un revestimiento delgado y denso de metal, cerámica o carbono sobre un sustrato (molde o mandril) para formar una parte. También se puede usar para revestir otro material para lograr una fuerte adhesión y unión entre el material de revestimiento y la superficie subyacente. El propósito de estos procesos es mejorar la capacidad de los artículos recubiertos o densificados para sobrevivir a los ambientes extremos en los que operan las partes fundamentales del sistema de cohetes.

Los procedimientos y métodos generales utilizados para crear materiales derivados pirolíticamente y sus gases precursores son ampliamente conocidos. Sin embargo, las fórmulas, procesos y configuraciones de equipos específicos generalmente se derivan empíricamente y se consideran secretos comerciales patentados por la industria. Los datos controlados (tecnología) pueden tomar la forma de asistencia técnica, que incluye instrucción, habilidades, capacitación, conocimiento práctico, asistencia de adquisiciones y servicios de consultoría. La tecnología puede adoptar la forma física de copias heliográficas, planos, diagramas, modelos, fórmulas, diseños y especificaciones de ingeniería, y manuales e instrucciones escritas o grabadas en otros medios o dispositivos como discos, cintas, unidades USB, CD-ROM y DVD.

Método de operación: La tecnología para la deposición de carbono pirolítico se encuentra principalmente en entornos de laboratorio pequeños. No se conoce la producción industrial a gran escala por deposición pirolítica de carbono. La tecnología no se comparte ni exporta fácilmente. La tecnología para la deposición de metal o cerámica es más frecuente y podría ser adquirida por un país por varios medios. Un país puede obtener la tecnología a través de la instrucción proporcionada por una persona con experiencia en uno de estos temas controlados 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 de esta asistencia pueden calificar como datos técnicos.

Usos típicos relacionados con misiles: Esta tecnología se utiliza para construir escudos térmicos de misiles e insertos de garganta para toberas de revestimiento.

Otros usos: Algunas "tecnologías" pueden tener funcionalidad en la industria aeronáutica militar o comercial, en la fabricación de troqueles y herramientas de formación que dan forma al vidrio semifundido, así como a elementos calefactores, objetivos de pulverización catódica y aislantes térmicos. Esta tecnología también puede ser utilizada por fabricantes de vidrio especializados.

Apariencia (como se fabrica): N/C.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

Categoría II - Artículo 7
Reservado para uso futuro

Categoría II - Artículo 8
Reservado para uso futuro

Categoría II - Artículo 9
Instrumentación,
navegación y equipos

Categoría II - Artículo 9: Instrumentación, navegación y equipos radiogoniométricos

9.A. Equipos, ensamblajes y componentes

9.A.1. Sistemas integrados de instrumentos de vuelo que incluyen giroestabilizadores o pilotos automáticos, diseñados o modificados para su uso en los sistemas especificados en 1.A., o 19.A.1. o 19.A.2. y componentes especialmente diseñados para ello.

- | | |
|-------------------|-------------|
| • China | • Francia |
| • Alemania | • India |
| • Israel | • Italia |
| • Japón | • Noruega |
| • Federación Rusa | • Sudáfrica |
| • España | • Suecia |
| • Suiza | • Ucrania |
| • Reino Unido | • Estados |

Producción global



Naturaleza y propósito: Los sistemas integrados de instrumentos de vuelo utilizan una variedad de sensores, así como instrumentos inerciales (acelerómetros y giroscopios) para rastrear la trayectoria de vuelo de los sistemas de cohetes y UAV. Al recopilar y utilizar más datos que los conjuntos de guía puramente inerciales, estos sistemas son altamente precisos, mientras que los datos adicionales del sensor pueden permitir el uso de instrumentos inerciales menos costosos con grandes errores dependientes del tiempo sin una reducción en la precisión general del sistema. Los fabricantes han utilizado una variedad de nombres para los sistemas integrados de instrumentos de vuelo, como los sistemas integrados de navegación, y dichos sistemas con otros nombres también pueden controlarse en el punto 9.A.1.

instrumentos de vuelo recopilan y procesan datos en vuelo de sensores activos y pasivos, receptores e instrumentos inerciales para rastrear la trayectoria de vuelo del misil. Utilizan uno de varios esquemas jerárquicos o de votación para obtener la mejor estimación de posición y rumbo para comparar con la ruta de vuelo preprogramada. Los resultados se utilizan para generar señales para dirigir el vehículo a lo largo de la ruta de vuelo prevista y para activar otras funciones preprogramadas (como la liberación de la carga útil) en el momento adecuado.

Usos típicos relacionados con misiles: Los sistemas integrados de instrumentos de vuelo son equipos necesarios en los UAV, incluidos los misiles de crucero.

Otros usos: Los sistemas integrados de instrumentos de vuelo se utilizan tanto en aeronaves civiles como militares.

Apariencia (como se fabrica): Los sistemas integrados de instrumentos de vuelo varían mucho en tamaño y apariencia porque están diseñados para diferentes configuraciones interiores de diferentes vehículos, y utilizan varias combinaciones de subsistemas.



Imagen 74: El cuerpo principal del sistema integrado de instrumentos de vuelo de un misil de crucero. (Sistemas de guía y control de Litton)

Los sistemas diseñados para misiles de crucero u otros UAV más grandes pueden tener una longitud de hasta 0,5 m y pesar varios kilogramos (Imagen 74). Otros diseñados para UAV más pequeños pueden ser tan pequeños como 0,2 m x 0,2 m x 0,1 m, y pesar tan poco como 1 kg (Imagen 75). Al igual que con los sistemas de guía de misiles controlados en 2.A.1.d., la mayoría de los sistemas integrados de instrumentos de vuelo controlados por 9.A.1. están encerrados en cajas metálicas (a menudo de aluminio), que a menudo tienen paneles de acceso extraíbles. En algunos casos, los componentes del sistema pueden estar distribuidos por todo el misil, con algunos sensores y antenas ubicados bien separados del ordenador y la unidad de medición de inercia (IMU).



Imagen 75: Una selección de sistemas de navegación inercial (INS) diseñados para aplicaciones de UAV. Desde la izquierda: un sistema de piloto automático y gestión de misiones para UAV y otras aplicaciones militares; un sistema INS/GPS completamente integrado; y un sistema que ha integrado giroscopios de estado sólido, acelerómetros, magnetómetros y receptores de GPS. (Rockwell Collins)

Apariencia (como empaquetado): Aunque los sistemas integrados de instrumentos de vuelo no son tan delicados y caros como algunos de los conjuntos de guiado de misiles balísticos más caros, su embalaje suele ser robusto e incluye desecantes y envolturas herméticas para la protección contra la humedad. Estos sistemas generalmente se envían en contenedores acolchados con etiquetas que indican la necesidad de un manejo cuidadoso.

9.A.2. Brújulas giroscópicas astronómicas y otros dispositivos, distintos de los especificados en el artículo 7A004, que deriven la posición o la orientación por medio del seguimiento automático de los cuerpos celestes o satélites, así como los componentes diseñados especialmente para ellos.

Naturaleza y propósito: Las brújulas giroscópicas son conjuntos de precisión de equipos ópticos y electromecánicos sensibles utilizados para la navegación. Proporcionan una actualización de orientación en vuelo y, por lo tanto, aumentan la precisión de navegación.

Método de operación: Estos dispositivos utilizan un sensor óptico para detectar una fuente de luz puntual distante en una dirección conocida, que generalmente se basa en estrellas, pero también utiliza satélites que viajan en órbitas conocidas. El ordenador de guiado compara la dirección esperada de la estrella en la trayectoria actual con su dirección medida y envía señales al sistema de control de vuelo para hacer las correcciones de rumbo necesarias.

- Francia
- Alemania
- Federación Rusa
- Reino Unido
- Estados Unidos

Producción global



Usos típicos relacionados con misiles: Las brújulas giroscópicas se usan en misiles que vuelan una parte de su trayectoria sobre la atmósfera.

Otros usos: Las brújulas giroscópicas se utilizan en sondas espaciales y algunos aviones, así como en algunos barcos para ayudar en la navegación.

Apariencia (como se fabrica): Las mejoras en la tecnología de sensores ópticos han reducido el tamaño y el peso de dichos sensores, y es probable que continúen haciéndolo. Aunque las brújulas giroscópicas varían considerablemente en diseño, los sensores ópticos o telescopios tienen una lente óptica visible,

que puede estar protegida por una persiana automática o una trampilla. Muchos telescopios están montados en cardán (es decir, montados dentro de una o más jaulas pivotantes) y, por lo tanto, pueden apuntar automáticamente para ubicar una referencia óptica. Una unidad típica puede medir menos de medio metro y pesar menos de 10 kg. En la Imagen 76 se muestra una fotografía de una brújula giroscópica. Brújulas sin gimbal consisten en poco más que un sensor óptico con superficies de montaje de precisión, un obturador y dispositivos electrónicos de soporte. Sus carcasas de metal a menudo miden solo 5 cm a 7 cm de lado y pesan aproximadamente 0,5 kg.

Apariencia (como empaquetado): Debido a que las brújulas giroscópicas son mecanismos delicados, generalmente se empaquetan en contenedores de envío robustos que evitan daños por humedad y golpes leves. Los contenedores de envío generalmente tienen etiquetas de advertencia que indican que contienen conjuntos costosos de equipos ópticos, eléctricos o mecánicos sensibles.



Imagen 76: Una brújula giroscópica de alta resolución. (Litton Alenia Difesa)

9.A.3. Acelerómetros lineales, diseñados para su empleo en sistemas de navegación inercial o en sistemas de guiado de todo tipo, utilizables en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2., que tengan todas las características siguientes y componentes diseñados especialmente para ellas:

- a. a. "Repetibilidad" de "factor de escala" menor (mejor) que 1 250 ppm; y
- b. b. "Repetibilidad" del "sesgo" (bias) menor (mejor) que 1 250 micro g.

Nota:

Punto 9.A.3. no somete a control los acelerómetros diseñados especialmente y desarrollados como sensores para Medida Mientras Perfora (Measurement While Drilling, MWD) para su utilización en operaciones de servicio de perforación de pozos.

Notas técnicas:

1. 'Sesgo' se define como la salida del acelerómetro cuando no se aplica aceleración.
2. El 'factor de escala' se define como la relación entre un cambio en la salida y un cambio en la entrada.
3. La medición de 'sesgo' y 'factor de escala' se refiere a una desviación estándar sigma con respecto a una calibración fija durante un período de un año.
4. La 'repetibilidad' se define de acuerdo con el estándar IEEE para la terminología del sensor inercial 528 2001 en la sección Definiciones, párrafo 2.214, titulado repetibilidad (giroscopio, acelerómetro) de la siguiente manera: "La concordancia entre medidas repetidas de la misma variable bajo las mismas condiciones de funcionamiento cuando se producen cambios en las condiciones o períodos no operativos entre las medidas".

- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Noruega
- Federación de Rusia
- Suecia
- Reino Unido
- Estados Unidos
- Francia
- India
- Italia
- Corea del Norte
- Pakistán
- Sudáfrica

Global
producción



Naturaleza y propósito: Los acelerómetros son piezas sensibles de equipos electromecánicos utilizados para medir la aceleración, que es la tasa de cambio de velocidad en una dirección dada. La aceleración se integra una vez para proporcionar velocidad y se integra nuevamente para proporcionar la distancia recorrida desde el punto de origen o lanzamiento.

La precisión del misil depende directamente de la calidad de los acelerómetros y giroscopios del misil; los misiles que vuelan durante mucho tiempo sin actualizaciones externas requieren acelerómetros de alta calidad. Los misiles que usan sistemas de sensores como los receptores del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), arreglos estelares o sensores de coincidencia del terreno para hacer correcciones a mitad de vuelo pueden usar acelerómetros de menor calidad (Imagen 77). Gran parte del costo de los acelerómetros de grado inercial de alta calidad resulta de las extensas pruebas de calibración que se deben realizar en cada unidad.

Método de operación Los acelerómetros reciben energía eléctrica, detectan la aceleración y proporcionan información de medición como señal eléctrica.



Imagen 77: Este acelerómetro se utiliza en muchos sistemas de navegación inerciales de amarre comercial y militar. Honeywell

La información del acelerómetro, junto con la información sobre el tiempo, la gravedad local, la orientación y posiblemente otras mediciones, permite que la velocidad, el rumbo y la posición del vehículo sean estimados por el conjunto de guiado o el sistema integrado de instrumentos de vuelo. Existen varios tipos diferentes de acelerómetros, cada uno con su propio método de operación.

Muchos acelerómetros pendulares (a menudo denominados balance de fuerza, balance de fuerza o acelerómetros de reequilibrio de fuerza) usan un peso pequeño en una bisagra flexible que se apoya contra las fuerzas de gravedad y aceleración mediante un campo magnético. Existen numerosas variaciones de este diseño, pero los principios son muy parecidos. El pequeño peso se mantiene en una posición nula por un electroimán. A medida que cambia la aceleración, el peso se mueve y los circuitos de control cambian la corriente en el electroimán para devolver el peso a la posición nula. La cantidad de corriente requerida para este reposicionamiento, o reequilibrio, es proporcional a la aceleración.

Un acelerómetro pendular común utilizado en los sistemas de navegación y guía se conoce como acelerómetro Q-Flex (flexión de cuarzo). La estructura de bisagra y péndulo de una pieza está hecha de cuarzo fundido, un material muy estable y no conductor. La aceleración aplicada produce un par en el conjunto de masa a prueba de cuarzo. El desplazamiento detectado por un detector produce un voltaje de salida proporcional. Esta salida se amplifica y condiciona, luego se alimenta a una bobina de torque fijada a la masa de prueba. La corriente a través de la bobina, en el campo magnético permanente, desarrolla un par de restauración igual y opuesto a la aceleración aplicada. La misma corriente pasa a través de una resistencia de carga externa que genera un voltaje de salida proporcional a la aceleración aplicada.

Un giroscopio por masa giratoria con una masa desequilibrada añadida a lo largo de su eje de rotación puede usarse como acelerómetro. El giroscopio gira en torno a un pivote perpendicular a su eje de giro a una velocidad proporcional a la aceleración, incluida la gravedad. La suma de estas revoluciones sirve como una integración mecánica de la aceleración para proporcionar una salida proporcional a la velocidad en lugar de la aceleración. Los acelerómetros de este tipo se conocen como acelerómetros giroscópicos integradores pendulares (PIGA) (Imagen 78). Los PIGA pueden ser muy caros y se han utilizado en algunos de los sistemas de misiles balísticos de largo alcance más precisos.

También existen otros diseños de acelerómetros, como acelerómetros de elementos vibrantes que varían la tensión y la frecuencia de un elemento vibrante. Los acelerómetros de chip usan una porción flexible del microcircuito semiconductor para variar la resistencia eléctrica y producir una salida eléctrica (Imagen 79). Los acelerómetros de este tipo se encuentran en el extremo inferior del rango de rendimiento, pero los esfuerzos de diseño continuarán debido a la posibilidad de una reducción sustancial de costos. Tales acelerómetros modernos ya se utilizan en IMU que requieren un menor grado de precisión.



Imagen 78: Un acelerómetro giroscópico de integración pendular (PIGA) junto a una escala en pulgadas. (The Charles Stark Draper Laboratories, Inc.)

Usos típicos relacionados con misiles: Los acelerómetros se utilizan en conjuntos de guía de misiles o sistemas integrados de instrumentos de vuelo. Por lo general, tres acelerómetros montados perpendiculares entre sí proporcionan toda la información de medición de aceleración necesaria para la navegación inercial. Pueden instalarse en una estructura de cardán (ver 2.A.1.d.), montarse en una bola flotante o fijarse (amarrarse) al armazón de misiles. Combinados con giroscopios, forman una IMU o un conjunto de sensor de inercia (ISA). Dependiendo de los requisitos de la misión, algunos UAV, incluidos los misiles de crucero, pueden conformarse con solo uno o dos acelerómetros.

Otros usos: Los acelerómetros se utilizan tanto en aeronaves civiles y militares como en sistemas espaciales, en pruebas de esfuerzo de perforación de pozos petroleros, como navegadores inerciales en automóviles y otros vehículos terrestres, y en equipos electrónicos, medidores de gravedad, robótica, teléfonos móviles y atracciones de carnaval (montañas rusas). Sin embargo, la mayoría de estos usos no requieren la alta estabilidad y la precisión altamente calibrada de los acelerómetros de grado inercial.

Apariencia (como se fabrica): Los acelerómetros varían mucho en apariencia porque existen muchos diseños. Generalmente son cilíndricos, metálicos y brillantes por mecanizado de precisión. Los acelerómetros más grandes utilizados en misiles balísticos tienen varios centímetros de longitud y pueden pesar hasta varios kilogramos. Los utilizados en vehículos aéreos no tripulados, incluidos los misiles de crucero, son más pequeños y ligeros; pueden medir solo unos centímetros de lado y pesar menos de un kilogramo. Muchos acelerómetros de interés MTCR tienen conexiones eléctricas de alta calidad y superficies de montaje de precisión para una alineación precisa. Muchos acelerómetros son instrumentos sellados de fábrica, que generalmente no se desmontan ni se abren para el servicio de ningún cliente. El modelo y el número de serie en el exterior del acelerómetro deben aparecer en la documentación asociada, que contiene información sobre la precisión.

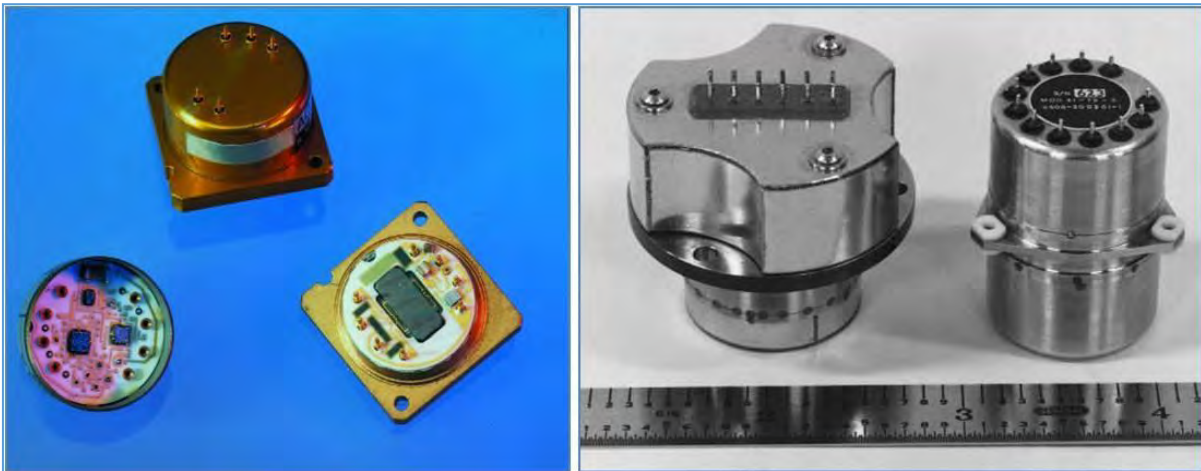


Imagen 79: Izquierda: Un acelerómetro de circuito integrado. (Litton Sextant Avionique) Derecha: Dos acelerómetros de reequilibrio de fuerza que se pueden construir con cualquiera de una amplia gama de capacidades de rendimiento. (Lockheed Martin Federal Systems)

Distinguir el control de MTCR de otros acelerómetros simplemente por inspección visual puede ser difícil porque, aunque los diferentes modelos de un acelerómetro tienen diferentes capacidades de rendimiento, pueden parecer idénticos. La información relevante exclusiva de cada modelo y acelerómetro numerado en serie se puede derivar de la documentación asociada (a menudo denominada hoja de calibración o datos de calibración), incluido el umbral g y el error de linealidad. Un factor importante que hace que un acelerómetro sea lo suficientemente preciso para su uso en conjuntos sofisticados de guiado de misiles es la exhaustiva prueba necesaria para compilar los datos de calibración. Por lo tanto, el detalle y la cantidad de los datos de calibración y modelado de errores asociados con cada acelerómetro son indicadores clave para determinar el uso de un acelerómetro relacionado con misiles.

Apariencia (como empaquetado): Debido a que están diseñados para ser sensibles a la aceleración, los acelerómetros de precisión son vulnerables al daño por un impacto relativamente menor. Por lo general, están protegidos contra golpes físicos en paquetes pequeños de alta calidad con forro de espuma gruesa y ajustada al contorno, como un paquete para un reloj de bolsillo fino. Para el envío, una o más de estas cajas especiales se empaquetan en otra caja u otro contenedor con un revestimiento acolchado de algún tipo. La documentación sobre la precisión de cada modelo y acelerómetro numerado en serie generalmente se encuentra en su paquete.

9.A.4. Todos los tipos de giroscopios utilizables en los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1 o 19.A.2., con una 'estabilidad' de la "velocidad de deriva" tasada en menos de 0,5o (1 sigma o RMS) por hora en un medio ambiente de 1 g y los componentes diseñados especialmente para ellos.

Notas técnicas:

1. La 'velocidad de deriva' se define como el componente de la salida del giroscopio que resulta funcionalmente independiente de la rotación de entrada. Se expresa como una velocidad angular. (IEEE STD 528-2001, párrafo 2.56)

2. La "estabilidad" se define como una medida de la capacidad de un mecanismo específico o coeficiente de actuación de permanecer invariable cuando se expone continuamente a una condición fija de funcionamiento. (Esta definición no se refiere a la estabilidad dinámica o servo) (IEEE STD 528-2001, párrafo 2.247)

- Austria
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Pakistán
- Sudáfrica
- Reino Unido
- Estados Unidos
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Corea del Norte
- Federación de Rusia
- Suecia

Producción global



Naturaleza y propósito: Los giroscopios son piezas sensibles de equipos electromecánicos o electroópticos que miden la rotación alrededor de uno o más ejes sensibles. Los giroscopios generalmente se montan con acelerómetros en el conjunto de guiado o en el sistema integrado de instrumentos de vuelo. Miden cualquier cambio en la orientación angular de los acelerómetros, de modo que se conoce la dirección de las mediciones del acelerómetro. Uno de los parámetros de rendimiento más importantes es la estabilidad de la tasa de deriva, generalmente medida en fracciones de un grado por hora. Esto determina qué tan rápido el giroscopio pierde el conocimiento de su orientación. Para giroscopios utilizados en sistemas de guiado de amarre, la estabilidad del factor de escala: el factor que relaciona la velocidad de rotación detectada o ángulo y la señal de salida del giroscopio - también es crítica.

La precisión del misil depende directamente de la calidad de los acelerómetros y giroscopios del misil; los misiles que vuelan durante mucho tiempo sin actualizaciones externas requieren giroscopios de alta calidad. Los misiles que usan sistemas de sensores como receptores de Sistemas de navegación global por satélite (GNSS), arreglos estelares o sensores de coincidencia del terreno para hacer correcciones a mitad de vuelo pueden usar giroscopios de menor calidad. Gran parte del costo de los giroscopios de grado inercial de alta calidad resulta de las extensas pruebas que se deben realizar en cada unidad.

Método de operación: Los giroscopios detectan cambios angulares (cambios de orientación) y proporcionan información de medición, como alguna forma de señal eléctrica. La información de orientación de los giroscopios, junto con la información sobre el tiempo, la gravedad local, la aceleración y posiblemente otras mediciones, permiten estimar la velocidad, el rumbo y la posición del vehículo mediante el conjunto de guiado o el sistema integrado de instrumentos de vuelo. Existen varios tipos diferentes de giroscopios, cada uno con su propio método de operación. La mayoría de los misiles guiados por inercia utilizan giroscopios por masa giratoria o giroscopios electroópticos.

Los giroscopios por masa giratoria contienen un disco giratorio y funcionan según el principio giroscópico mediante el cual se genera un par proporcional medible perpendicular a la perturbación angular. Hay dos tipos comunes de giroscopios por masa giratoria. Los giroscopios de un solo grado de libertad (SDF) detectan la rotación de un solo eje, mientras que los giroscopios de dos grados de libertad (TDF) detectan la rotación de dos ejes. Dado que los sistemas de guiado de misiles generalmente requieren conocimientos de orientación para los tres ejes, se requieren tres giroscopios SDF, pero solo dos giroscopios TDF (un eje será redundante).

Un giroscopio SDF tiene la masa giratoria suspendida en el eje transversal dentro de un cilindro que flota dentro de otro cilindro un poco más grande fijado a la plataforma de guía. Muchos diseños flotan el cilindro interno en un líquido mientras que otros lo suspenden con flujo gaseoso. Las rotaciones del cilindro interno flotante están relacionadas con los cambios de orientación de entrada por el efecto giroscopios por masa giratoria. La medición de esas rotaciones o la medición de la fuerza necesaria para evitar esas rotaciones es la salida del giroscopio SDF.

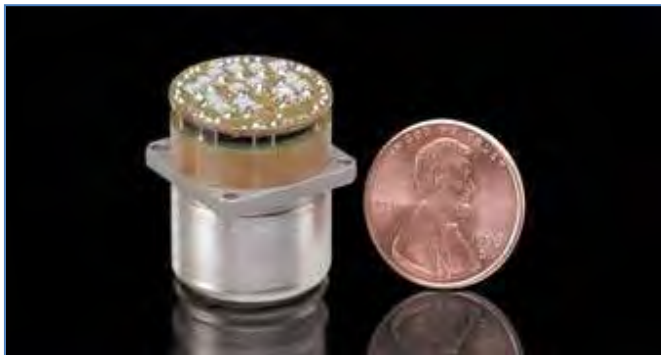


Imagen 80: Este giroscopio sintonizado dinámicamente (DTG) se utiliza en una variedad de aplicaciones militares, incluidas las unidades de medición inercial (IMU) y la guía táctica de misiles. (Northrop Grumman)

El giroscopio TDF más utilizado es el giroscopio sintonizado dinámicamente (DTG) (Imagen 80). No utiliza fluido de flotación, por lo que a veces se lo denomina giroscopio sintonizado "seco". Un DTG tiene la masa giratoria suspendida en un complejo conjunto de bisagras flexionadas complejas, esencialmente una junta universal de ultra precisión. El complejo conjunto de bisagra se ajusta para que sus pares de error se cancelen a una velocidad específica, a menudo superior a 10 000 rpm. Los DTG necesitan una muy buena regulación de velocidad para funcionar de manera confiable a las rpm ajustadas. Los tipos más antiguos de giroscopios TDF consisten en una serie de gimbals mecánicos que aíslan el rotor giratorio de la carcasa. Se utiliza la posición angular de la masa giratoria con respecto a la carcasa para medir los cambios de orientación de la plataforma.

Los giroscopios electroópticos generan haces de luz láser contrarrotativos alrededor de un camino cerrado para formar un patrón de interferencia que es detectado por un detector. Cuando se produce una rotación alrededor de un eje que no está en el plano del bucle, la diferencia en las longitudes efectivas de las respectivas rutas crea un cambio relativo del patrón de interferencia. Este cambio (conocido como el efecto Sagnac) es observado por el detector, que proporciona una salida proporcional a la rotación del giroscopio.

Hay dos tipos comunes de giroscopios ópticos, el giroscopio láser de anillo (RLG) y el giroscopio de fibra óptica (FOG), y hay varias variaciones de cada uno. Los RLG crean sus haces de luz láser contrarrotativos dentro de los tubos de gas que son cavidades configuradas en un camino poligonal cerrado, a menudo triangular, pero a veces de cuatro o cinco lados. Estas cavidades están hechas de vidrio con una expansión térmica cercana a cero para una mayor precisión. Los FOG usan carretes largos de cable de fibra óptica para transportar las vigas contrarrotativas.

Una diferencia importante entre los RLG y los FOG es que el carrete del cable de fibra óptica le da al FOG una longitud de camino óptico mucho más larga y, al menos teóricamente, una mejor precisión. En la práctica, sin embargo, esta mejora se compensa con imperfecciones en el cable de fibra óptica y las interfaces de cable.

Los FOG están diseñados como giroscopios de un solo eje, por lo que la mayoría de los misiles que los usan necesitarán tres para rastrear las rotaciones sobre los tres ejes; Lo mismo ocurre con los RLG de anillo único. A veces se utilizan RLG de varios ejes que contienen tres o más anillos en un solo bloque de vidrio; solo se requeriría una de esas unidades en un conjunto de orientación.

Otros tipos de giroscopios incluyen el giroscopio de resonancia hemisférica, que establece y monitorea una onda de vibración estacionaria en una copa hemisférica (algo así como una pequeña copa de vino). También hay diseños como pequeños diapasones que funcionan por un método que involucra la fuerza de Coriolis. Sin embargo, cualquier giroscopio capaz de cumplir con las especificaciones de rendimiento de MTCR se controla independientemente de su método de operación.

Usos típicos relacionados con misiles: Los giroscopios se usan en un conjunto de guiado de misiles o en un sistema integrado de instrumentos de vuelo para detectar cambios en la orientación del acelerómetro. Los diseños pueden usar dos, tres o cuatro giroscopios. Por lo general, se montan perpendiculares entre sí para proporcionar información de medición angular sobre los tres ejes. Se pueden usar en una estructura de cardán (ver Artículo 2.A.1.d.), montada en una bola flotante o fijada a un bloque que a su vez está fijado a la célula del misil en una configuración de amarre. Combinados con acelerómetros, forman la IMU o ISA.

Otros usos: Los giroscopios se utilizan en conjuntos de guiado sin misiles, sistemas integrados de instrumentos de vuelo, estabilizadores de giro, pilotos automáticos y en equipos de navegación. Las aplicaciones militares incluyen artillería, tanques, barcos y aviones. Las aplicaciones comerciales incluyen barcos, aviones y perforación petrolera. En la mayoría de las aplicaciones sin misiles, los giroscopios pueden ser más pequeños, más baratos y menos complejos porque los entornos operativos y los requisitos de precisión suelen ser menos exigentes.



Imagen 83: Un FOG (izquierda), un RLG (centro) y un acelerómetro (derecha). (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))



Imagen 82: Un giroscopio sintonizado dinámicamente (DTG). (The Charles Stark Draper Laboratories, Inc.)



Imagen 81: Una estructura vibratoria giroscópica. (British Aerospace Ltd.)

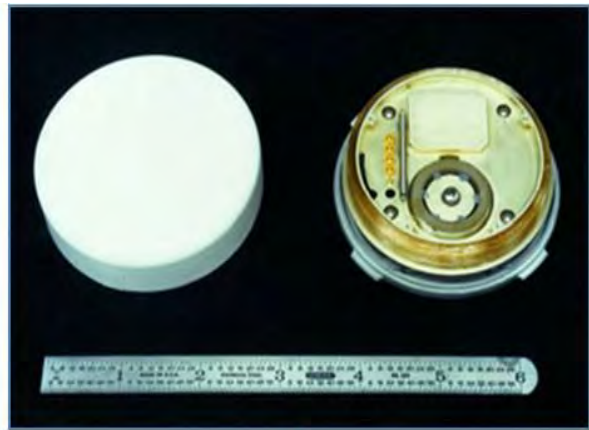


Imagen 84: Arriba a la izquierda: tres giroscopios láser de anillo expuestos sin sus componentes electrónicos asociados. (Honeywell) Arriba a la derecha: un giroscopio de fibra óptica con la parte superior retirada. (Honeywell) Parte inferior: un giroscopio de fibra óptica con detección de velocidad. Mide 2 cm x 6.5 cm x 8 cm. (LITEF)

Apariencia (como se fabrica): Los modernos giroscopios SDF pueden tener de 5 cm a 8 cm de diámetro y de 8 cm a 12 cm de largo, y pesar hasta 1 kg. Los DTG son generalmente cilíndricos con diámetros de 4 cm a 6 cm y longitudes de 4 cm a 8 cm, y generalmente pesan menos de 1 kg. Los giroscopios más antiguos pueden ser algo más grandes, aproximadamente el doble del tamaño de los giroscopios más nuevos y pesar varios kilogramos. Los giroscopios utilizados en vehículos aéreos no tripulados, incluidos los misiles de crucero, pueden ser mucho más pequeños y livianos, y tal vez pesen solo decenas de gramos.

Muchos giroscopios de interés MTCR tienen superficies de montaje de precisión para una alineación precisa y conexiones eléctricas de alta calidad. Debido a que existen muchos diseños, la apariencia de un giroscopio puede variar mucho. Los giroscopios por masa giratoria suelen ser cilíndricos, metálicos, pesados para su tamaño y brillantes por el mecanizado de precisión.

Los giroscopios ópticos individuales generalmente tienen forma de almohadilla y se montan en una caja sellada de bajo perfil. Una unidad RLG de tres anillos tenderá a ser cúbica y tendrá entre 4 y 10 cm de lado. Puede pesar entre fracciones de un kilogramo a más de un kilogramo. Algunos diseños de eje único se asemejan a cilindros con diámetros superiores a 20 cm. Algunos diseños de FOG tienen solo 2 cm a 4 cm de diámetro, contienen una fibra de varios cientos de metros de largo y pesan fracciones de kilogramo.

Los giroscopios controlados y no controlados por MTCR pueden parecer idénticos. La información relevante exclusiva de cada modelo y giroscopio numerado en serie se puede derivar de la documentación asociada (hoja de calibración o datos de calibración), incluida la estabilidad de la tasa de deriva. Al igual que con los acelerómetros, las pruebas exhaustivas necesarias para compilar estos datos de calibración son una parte sustancial de lo que hace que un giroscopio sea lo suficientemente preciso para usarse en un conjunto de guiado de misiles. Por lo tanto, el detalle y la cantidad de datos de calibración y modelado de errores asociados con cada giroscopio son fundamentales para determinar el uso de un giroscopio relacionado con misiles. El cal-data normalmente cita un número de serie que es visible en el giroscopio.

Apariencia (como empaquetado): Los giroscopios por masa giratoria son vulnerables al daño por choque, pero los giroscopios ópticos son bastante resistentes. Los giroscopios por masa giratoria se emban en contenedores acolchados de alta calidad. Los giroscopios ópticos no necesitan tanto material de amortiguación en el paquete, pero es probable que se envíen en paquetes de alta calidad, típicos de instrumentos y sensores electrónicos caros.



Imagen 85: Una unidad de medida inercial de grado táctico es un sensor de movimiento basado en giroscopio de fibra óptica de alto rendimiento que se utiliza en los sistemas de guiado y navegación de UAV. (KVH)

9.A.5. Acelerómetros o giroscopios de cualquier tipo, diseñados para su uso en sistemas de navegación inercial o en sistemas de guía de todo tipo, especificados para funcionar a niveles de aceleración superiores a 100 g y componentes diseñados especialmente para ellos.

Nota:

9.A.5. no incluye acelerómetros diseñados para medir

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

Producción global



Naturaleza y propósito: Los acelerómetros y giroscopios especificados para funcionar a niveles de aceleración superiores a 100 g son una categoría especial de acelerómetros y giroscopios, que pueden incluir los del Artículo 9.A.3. y 9.A.4., respectivamente. Estos dispositivos producen señales ininterrumpidas en todo su rango especificado y están diseñados para funcionar bajo aceleraciones extremas superiores a 100 g. Todos estos instrumentos se controlan bajo este elemento, independientemente de las especificaciones de rendimiento. Su propósito es proporcionar datos de instrumentos inerciales bajo fuertes aceleraciones como las experimentadas por los vehículos de reentrada (RV) durante la evitación de la defensa y la desaceleración de reentrada. Estos instrumentos también pueden usarse como parte de un sistema de disparo. No se incluyen especificaciones de precisión porque se pueden utilizar instrumentos con una precisión significativamente menor debido al período relativamente corto de operación.

Método de operación: Estos instrumentos inerciales funcionan de manera muy similar a los cubiertos en el artículo 9.A.3. y 9.A.4., pero son resistentes y tienen un mayor rango de operación (más de 100 g).

Usos típicos relacionados con misiles: Estos acelerómetros se pueden usar como espoletas en RV. Los acelerómetros y giroscopios de salida continua se utilizan en los conjuntos de guiado que dirigen los RV de maniobra mientras evaden las defensas o se guían terminalmente a un objetivo. Tales acelerómetros y giroscopios son bastante precisos y probablemente resistentes a la radiación. Los acelerómetros de salida continua de más de 100 g también se usan en mecanismos de disparo para misiles de crucero con ojivas penetrantes.

Otros usos: Los acelerómetros y giroscopios capaces de operar en un entorno de 100 g se pueden utilizar en municiones guiadas, como proyectiles de artillería. Dichos acelerómetros también se usan en laboratorios para pruebas de alta g que requieren una producción continua.



Imagen 86: Un acelerómetro de circuito integrado de más de 100 g. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

Apariencia (como se fabrica): Los acelerómetros pueden verse idénticos a los cubiertos en el Artículo 9.A.3 (Imagen 86). Del mismo modo, los giroscopios especificados para funcionar en niveles superiores a 100 g también pueden ser prácticamente idénticos en apariencia a los cubiertos en el Artículo 9.A.4. Todos son generalmente cilíndricos o de tipo almohadilla con bridas de montaje de precisión y conectores eléctricos de alta calidad. Debido a que los instrumentos más pequeños son inherentemente más tolerantes a g, tienden a ser más pequeños que la mayoría de los otros acelerómetros y giroscopios. Incluso hay acelerómetros en miniatura de alta g integrados en los elementos del circuito.

Apariencia (como empaquetado): Debido a su naturaleza resistente, estos instrumentos no necesitan un manejo especial. Se envían como pequeños artículos de equipo informático. La documentación sobre el rango g operativo de cada modelo y unidad numerada en serie generalmente se incluye en su paquete.

9.A.6. Equipos o sistemas de medición de inercia con acelerómetros especificados en 9.A.3. o 9.A.5. o giroscopios especificados en 9.A.4. o 9.A.5., y componentes diseñados especialmente para ellos.

Nota:

Artículo 9.A.6. incluye:

- a. Sistemas de referencia de actitud y rumbo (AHRS);
- b. Girocompases;
- c. Unidades de medición inerciales (IMUs);
- d. Sistemas de navegación inerciales (INSS);
- e. Sistemas de rumbo inerciales (IRSs);
- f. Unidades de rumbo inerciales (IRUs).

Nota técnica:

Los 'Equipos o sistemas inerciales de medición' especificados en el Artículo 9.A.6. incorporan acelerómetros o giróscopos para medir los cambios en la velocidad y la orientación a fin de determinar o mantener el rumbo o la posición sin necesidad de una referencia externa una vez alineados.

- | | |
|------------------|-----------------------|
| • China | • Francia |
| • Alemania | • India |
| • Israel | • Italia |
| • Japón | • Noruega |
| • Pakistán | • Federación de Rusia |
| • Sudáfrica | • España |
| • Suecia | • Suiza |
| • Ucrania | • Reino Unido |
| • Estados Unidos | |

Producción global



Naturaleza y propósito: Este artículo del Anexo MTCR asegura que cualquiera de los acelerómetros y giroscopios controlados en el Artículo 9 permanezcan controlados cuando son componentes de un conjunto más grande utilizado para la navegación y la búsqueda de dirección. Los ejemplos de dichos conjuntos incluyen IMU y conjuntos completos de guiados no controlados en 2.A.1.d. Cualquier equipo o sistema de medición de inercia se controla como Categoría II en este artículo si contiene uno o más de los artículos 9.A.3., 9.A.4. O 9.A.5.

Usos típicos relacionados con misiles: Este equipo se utiliza en conjuntos de guiado y sistemas integrados de instrumentos de vuelo para misiles balísticos y UAV, incluidos los misiles de crucero, como se describe en el Artículo 2.A.1.d. y 9.A.1.

Otros usos: Este equipo también se puede usar en conjuntos de guiado y sistemas de navegación para una amplia gama de usos de vuelo espacial, aviación, mapeo de gravedad, navegación oceánica, navegación terrestre y perforación de pozos.

Apariencia (como se fabrica): La apariencia de equipos inerciales u otros que usan acelerómetros o giroscopios varía ampliamente. Las IMU pueden diseñarse para montarse rígidamente en una configuración de amarre. Los equipos que usan acelerómetros y giroscopios también pueden usar sensores ópticos, receptores del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), unidades de radar, sensores horizontales, ordenadores y programas informáticos, y otros elementos, dependiendo de la aplicación específica. El equipo tiene conectores eléctricos y superficies de montaje, y puede tener paneles de acceso extraíbles para reemplazar acelerómetros, giroscopios u otros subelementos. Varían en tamaño y peso según la aplicación. The IMU shown in Figure 88 is 8 cm in height and just 8.5 cm in diameter, and weighs 750 g.

Apariencia (como empaquetado): Debido a que muchos acelerómetros y giroscopios son intrínsecamente delicados, se empaquetan en contenedores de envío robustos con amortiguación y aislamiento para evitar daños por golpes y humedad. Los contenedores pueden ser de madera, metal o plástico con amortiguación de espuma. Es probable que los paquetes de envío tengan las etiquetas de precaución que generalmente se usan en contenedores de ensamblajes costosos de equipos eléctricos o mecánicos sensibles.



Imagen 87: Una unidad de medición inercial (IMU) utiliza giroscopios de fibra óptica inercial (FOG) y acelerómetros micro-mecanizados y se utiliza en estabilización de espacios, guía de misiles, guía de UAV y control de vuelo. (Northrop Grumman)

9.A.7. «Sistemas de navegación integrados», diseñados o modificados para los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2. y capaz de proporcionar una precisión de navegación de 200 m CEP o menos.

Nota técnica:

Un 'sistema integrado de navegación' típicamente incorpora todos los siguientes componentes:

- a. Un dispositivo de medición inercial (p. ej. un sistema de referencia de actitud y rumbo, una unidad de referencia inercial o un sistema de navegación inercial);*
- b. Uno o más sensores externos utilizados para actualizar la posición, la velocidad o ambas, ya sea de manera periódica o continua durante todo el vuelo (p. ej. receptor de navegación por satélite, altímetro de radar y/o radar Doppler); y*
- c. Equipos informáticos y "programas informáticos" de integración.*

N.B. For integration "software", see Item 9.D.4.

- Argentina
- Brasil
- Dinamarca
- Alemania
- Israel
- Japón
- Corea del Sur
- Suiza
- Reino Unido
- Estados Unidos
- Australia
- China
- Francia
- India
- Italia
- Federación de Rusia
- Suecia
- Ucrania

Producción global



Naturaleza y propósito: Los sistemas de navegación integrados se componen de sensores de actualización de baja velocidad (por ejemplo, receptor de satélite de posicionamiento global (GPS), 1-20 Hz) y sensores de propagación de alta velocidad (por ejemplo, componentes inerciales, 50- 1,000 Hz) para proporcionar una posición robusta, velocidad, y solución de actitud a la plataforma huésped. El programa informático de procesamiento puede ejecutarse en uno de los procesadores de sensores o en una plataforma informática externa.

Los sensores de actualización y propagación tienen diferentes propósitos y tienen características de error complementarias. Los sensores de actualización como GNSS, altímetros de radar y radares Doppler producen soluciones de posición y/o velocidad por medición directa y cada solución contiene un nivel de error independiente. Los sensores de propagación, como los componentes inerciales (es decir, acelerómetros y

giroscopios) miden cambios incrementales en velocidad y actitud que deben integrarse para producir comparaciones con los sensores de actualización.

Los sensores de propagación proporcionan la base para una solución de actitud, ya que miden los cambios de actitud en relación con el espacio inercial. Los sensores de actualización no pueden proporcionar una medición de actitud instantánea.

Existen varios grados de componentes de medición inercial que impulsan los requisitos para la velocidad de actualización del sensor. Los sistemas inerciales para aplicaciones de defensa generalmente se agrupan en grados tácticos, de navegación y marinos y se diferencian principalmente por la calidad de sus componentes de giroscopio.

Método de operación: Antes de proporcionar una solución de navegación, se debe alinear una plataforma inercial. Este es el proceso mediante el cual se refina su estimación de actitud para que coincida con la de su plataforma huésped en relación con un local.

Marco de navegación horizontal. Se supone que los ángulos de montaje del sistema de navegación en relación con la plataforma huésped son conocidos y no es necesario estimarlos. Dependiendo de la plataforma huésped, esto se puede lograr a través de un proceso de alineación estática, en movimiento o de transferencia.

Durante la alineación estática, el girocompás (es decir, medir la velocidad de rotación de la tierra) se usa para encontrar el ángulo de guiñada y los acelerómetros se usan para determinar los ángulos de inclinación y balanceo. Con la alineación en movimiento, los errores en la estimación de actitud derivada inercialmente se reducen al comparar la solución de navegación inercial propagada con la del sistema de actualización a través de varias épocas de medición. Finalmente, para un

arma llevada, la alineación de transferencia se puede utilizar para replicar la solución de actitud del vehículo huésped (desde su sistema de navegación) a la plataforma del arma.

Una vez que la solución de actitud inercial ha convergido, las mediciones del acelerómetro se mecanizan a la velocidad de propagación inercial desde su marco de coordenadas de medición al marco de navegación de nivel local. Las medidas de aceleración transformadas se integran una vez para producir un cambio de velocidad incremental y se integran nuevamente para producir un cambio de posición incremental dentro del marco de navegación.



Imagen 89: Una unidad interna de medición de inercia (IMU) y GPS con giroscopio láser (recuadro). (Northrop Grumman)

Usos típicos relacionados con misiles: Los sistemas de navegación integrados se utilizan en los sistemas UAV, incluidos los misiles de crucero y algunos sistemas de misiles balísticos. Los ejemplos notables incluyen misiles balísticos lanzados desde submarinos que incorporan unidades integradas de medición de inercia con sensores estelares o misiles de superficie a superficie que utilizan receptores GNSS.

Otros usos: Los sistemas de navegación integrados sirven para muchos propósitos fuera de las operaciones basadas en misiles. Se usan comúnmente en aviones civiles y militares. También se usan en vehículos terrestres que operan en áreas urbanas donde pueden tener que lidiar con GNSS, incluidos GPS, interrupciones o interferencia de RF intencional/no intencional. Un sistema de navegación integrado puede confiar en la solución inercial entre las actualizaciones de GNSS disponibles.

los vehículos pilotados de forma remota (RPV) también se benefician de los sistemas de navegación integrados. Pueden experimentar condiciones dinámicas significativas y estar expuestos a interferencias, lo que podría provocar que un receptor de navegación por satélite falle temporalmente.



Imagen 88: Una unidad interna de medición de inercia (IMU) y GPS. (Northrop Grumman)

Dado que un sistema de navegación integrado proporciona una solución de actitud robusta, las plataformas aéreas que requieren una ubicación precisa y un ángulo de puntería de un sensor (por ejemplo, fotogrametría, radar) pueden tener esta capacidad como parte del sistema de navegación de la plataforma o como una unidad contenida por separado.

Los vehículos submarinos con componentes de inercia de grado marino pueden utilizar un sistema de navegación integrado emergiendo periódicamente para permitir actualizaciones GNSS. El período de actualización depende de la calidad de los sensores inerciales utilizados y de la precisión de la solución de navegación deseada a lo largo del tiempo.

Apariencia (como se fabrica): Los componentes del sistema de navegación integrado (por ejemplo, receptor GNSS, componentes inerciales y equipo informático/procesamiento de integración) generalmente se montan en recintos resistentes (izados) con varios conectores visibles externamente. Estos conectores proporcionan entradas para alimentación y antenas y salidas a un sistema de guiado o pantalla. La dimensión lineal de la caja más larga es típicamente menor que un pie (30 cm) Es posible que el receptor GNSS o la unidad de medición inercial (IMU) residan fuera del gabinete de integración de equipo informático/programa informático, dependiendo de la aplicación. These components in multiple forms are shown in Figure 88, Figure 89, and Figure 90.



Imagen 90: Una unidad de medición de inercia interna (IMU) y GPS. Honeywell

Apariencia (como empaquetado): Los sistemas de navegación integrados se enviarían en cajas de metal o plástico o en cajones de cartón acolchados. El cableado externo y las antenas se pueden incluir con un envío dependiendo de la plataforma prevista.

9.A.8. Sensores magnéticos de rumbo con tres ejes, que reúnan todas las características siguientes, así como los componentes diseñados especialmente para ellos:

- a. a. Compensación interna de inclinación en cabeceo (± 90 grados) y balanceo (± 180 grados);
- b. b. Una exactitud de azimut mejor que (inferior a) 0,5 grados RMS a una latitud de ± 80 grados, con referencia al campo magnético local; y
- c. c. Diseñado o modificado para integrarse con los sistemas de control de vuelo y navegación.

Nota:

Sistemas de control de vuelo y navegación en el punto 9.A.8. incluyen giroestabilizadores, pilotos automáticos y sistemas de navegación inercial.

- Finlandia
- Israel
- Suiza
- Estados Unidos
- Francia
- Países Bajos
- Reino Unido

Producción
global



Naturaleza y propósito: Los sensores de rumbo magnético de tres ejes miden el campo magnético de la Tierra en tres componentes ortogonales. Este campo apunta desde el polo sur magnético al polo norte magnético, es vertical (gran ángulo de "caída") cerca de los polos magnéticos y horizontal (pequeño ángulo de "caída") cerca del ecuador.

Estos sensores derivan un ángulo de rumbo desde el componente horizontal del campo magnético local (Imagen 18). Cerca de los polos, una medición precisa del rumbo es difícil, ya que el campo magnético tiene solo un pequeño componente horizontal.

Una vez que se calcula un rumbo magnético, el usuario o la aplicación pueden preferir que el rumbo se haga referencia al norte verdadero, en lugar de al magnético. Esta corrección de declinación se calcula en función de la posición y el tiempo de varios modelos globales.

Método de operación: Un tipo común de sensor magnético utilizado para fines de navegación es el sensor magnetorresistivo (MR). Este sensor está formado por tiras finas de permalloy (película magnética de NiFe) cuya resistencia eléctrica varía con un cambio en el campo magnético aplicado. Estos sensores tienen un eje de sensibilidad bien definido y se producen en masa como un circuito integrado.

Debido a los materiales ferrosos presentes en la estructura del vehículo huésped y sus sistemas eléctricos asociados, el campo magnético medido se distorsiona del campo magnético verdadero. Las compensaciones debidas a campos magnéticos producidos por imanes permanentes y componentes eléctricos se consideran "hierro duro" y se pueden modelar como sesgos constantes. Los que varían con la orientación de la plataforma se consideran "hierro suave". Si los

la plataforma puede rotarse físicamente, los errores de hierro duro y hierro suave pueden estimarse y almacenarse en tablas de calibración. Alternativamente, algunos sistemas utilizan un campo magnético variable autogenerado para realizar este paso de calibración en su lugar. Antes de la calibración de error, se supone que los ángulos de montaje de los ejes del sensor magnético son conocidos en relación con los ejes de los vehículos.



Imagen 91: Este es un sensor de rumbo magnético de precisión independiente. (KVH)



Imagen 92: Este módulo de brújula magnética giroestabilizado utiliza sensores de rumbo magnéticos de tres ejes. Honeywell

De manera similar a las unidades de medición inerciales de amarre, las mediciones de magnetómetro de tres ejes se hacen electrónicamente al marco horizontal local. Esto se logra después de medir el cabeceo y balanceo del vehículo con un acelerómetro de tres ejes o con un sistema de navegación adicional. Luego, el ángulo de rumbo se resuelve a partir de los dos componentes del campo magnético horizontal.

La compensación del giroscopio también se utiliza a veces para permitir una medición robusta del rumbo mientras el vehículo anfitrión está posiblemente expuesto a anomalías magnéticas transitorias.

Usos típicos relacionados con misiles: Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) pueden usar la medición de rumbo de los sensores magnéticos para fines de navegación mientras vuelan entre puntos de referencia. Los sensores magnéticos también tienen aplicación en telémetros láser, alineación de antenas, y también pueden integrarse con receptores/sistemas de navegación inercial de sistemas de navegación global por satélite (GNSS) para aplicaciones de misiles. Estos sensores sirven como fuente de medición adicional durante el período de actualización de un algoritmo de filtro Kalman. La estimación de rumbo también puede ser utilizada directamente por el sistema piloto automático de un sistema de guiado de misiles.

Dado que los sensores magnéticos realizan una medición absoluta de la orientación, en lugar de una medición integrada (por ejemplo, desde un giroscopio), no sufren los errores de deriva cada vez más grandes que experimentan los sistemas de inercia no corregidos. Durante los períodos de interferencia de RF, que pueden negar las actualizaciones de GNSS, las mediciones del sensor magnético siguen siendo útiles ya que no requieren actualizaciones periódicas.

Otros usos: Los sensores magnéticos tienen una serie de aplicaciones además de su utilidad en los sistemas de navegación de misiles. Se utilizan en vehículos terrestres para proporcionar al conductor una lectura de brújula de "8 puntos" (por ejemplo, NO, N, NE, etc.). Como los vehículos terrestres suelen funcionar cerca de la horizontal, puede que no sea necesaria la compensación de inclinación de las mediciones del sensor. Si los sensores magnéticos se montan permanentemente en una ubicación estática, pueden usarse para la detección y clasificación de vehículos, ya que los campos magnéticos detectados variarán debido a la proximidad del vehículo y las características ferrosas. Los sensores magnéticos dentro de los dispositivos de navegación personal (PND) se pueden usar para actualizar la orientación del mapa o aumentar las características de realidad dentro de aplicaciones móviles específicas a medida que se giran los PND.

Apariencia (como se fabrica): Los componentes del sensor magnético se pueden montar como una tríada directamente en una placa de circuito impreso dentro de un sistema de navegación o se pueden separar de otros componentes electrónicos en su propio recinto no ferroso. Un recinto separado permite que los sensores magnéticos se monten lo más lejos posible de los materiales ferrosos en el vehículo huésped. Magnetic sensors are very small in size, with typical dimensions of around 2.5 cm x 2.5 cm x 15 cm. They are also very light, weighing around 15 g to 20 g (Figure 92).

Apariencia (como empaquetado): Los componentes del sensor magnético se envían en cajones o cajas pequeñas y no son susceptibles a daños por golpes. Sin embargo, los componentes de compensación de inclinación (por ejemplo, acelerómetros) pueden verse afectados por grandes eventos de choque, lo que requiere que todo el sistema esté acolchado durante el envío.

Nota:

Equipo o "programas informáticos" especificados en 9.A. o 9.D. pueden exportarse como parte de una aeronave tripulada, satélite, vehículo terrestre, embarcación marina/submarina o equipo de prospección geofísica o en cantidades apropiadas para piezas de repuesto para tales aplicaciones.

9.B. Equipo de prueba y producción

9.B.1. "Equipo de producción" y otros equipos de ensayo, calibrado o alineación no especificados en 9.B.2., diseñados o modificados para ser utilizados con el equipo especificado en la categoría 9A.

Nota:

Equipo especificado en 9.B.1. incluye lo siguiente:

a. a. Para los equipos de giroscopio láser, los siguientes equipos se utilizan para caracterizar los espejos, mostrando la precisión del umbral o mejor:

1. Dispersómetro (10 ppm);
2. Reflectómetro (50 ppm);
3. Perfilómetro (5 Angstroms);

b. Para otros equipos inerciales:

1. Probador de módulo de unidad de medida inercial (IMU);
2. Probador de plataforma de IMU;
3. Accesorio de manejo de elementos estables de IMU;
4. Dispositivo de equilibrio de plataforma de IMU;
5. Bancos de ensayos para el sintonizado de giroscopios;
6. Bancos de equilibrado dinámico de giroscopios;
7. Bancos de ensayo para rodaje de motores de arrastre de giroscopios;
8. Bancos de vaciado y llenado de giroscopios;
9. Dispositivos de centrifugado para rodamientos de giroscopios;
10. Bancos de alineación de ejes de acelerómetro;
11. Banco de ensayo de acelerómetro;
12. Máquinas de bobinado giroscópico de fibra óptica.

9.B.2. Equipo de la siguiente manera:

a. Prensas isostáticas que tienen todas las características siguientes:

1. Que no puedan equilibrar rotores/conjuntos con una masa superior a 3 kg;
2. Que sean capaces de equilibrar rotores/conjuntos a velocidades superiores a 12 500 rpm;
3. Que sean capaces de corregir el equilibrado en dos planos o más; y
4. Que sean capaces de equilibrar hasta un desequilibrio residual específico de 0,2 g mm por kg de la masa del rotor;

b. b. Cabezas indicadoras (indicator heads) diseñadas o modificadas para uso con las máquinas especificadas en 9. B.2.a.;

c. c. Simuladores de movimiento/mesas de velocidad (equipos capaces de simular movimiento) que tengan todas las características siguientes:

1. Dos ejes o más;
2. Que hayan sido diseñados o modificados para incorporar anillos deslizantes o dispositivos integrados sin contacto capaces de transferir corriente eléctrica, señal de información o ambas cosas; y

3. Tener cualquiera de las siguientes características:
 - a.a. Para cualquier eje único, que se ajusten a todo lo siguiente:
 1. Capaz de alcanzar velocidades de 400 o/s o más, o 30 o/s o menos; y
 2. Una resolución de velocidad igual o menor que 6 o/s y una exactitud igual o menor a 0,6 o/s;
 - b.b. Que tengan en las peores condiciones una estabilidad de velocidad igual o mejor que (inferior a) más o menos 0,05 % como valor medio sobre 10 grados o más; o
 - c. Una "exactitud" de posicionamiento igual o inferior a (mejor que) 5";
- d. Mesas de posicionado (equipo capaz de un posicionado rotatorio preciso en cualquier eje), que posean todas las características siguientes:
 1. Dos ejes o más; y
 2. Una "exactitud" de posicionamiento igual o inferior a (mejor que) 5";
- e. Centrifugas capaces de impartir aceleraciones superiores a 100 g y que hayan sido diseñadas o modificadas para incorporar anillos deslizantes o dispositivos integrados sin contacto capaces de transferir corriente eléctrica, señal de información o ambas cosas.

Notas:

1. Las únicas máquinas equilibradoras, cabezales indicadores, simuladores de movimiento, mesas de velocidad, mesas de posicionado y centrifugadoras especificadas en el punto 9 son las especificadas en 9.B.2.
2. 9.B.2.a. no somete a control las máquinas de equilibrio diseñadas o modificadas para equipos dentales u otros fines médicos.
3. 9.B.2.c. y 9.B.2.d. no somete a control las mesas rotativas diseñadas o modificadas para máquinas herramientas o equipos médicos.
4. Mesas de velocidad no someten a control por 9.B.2.c. y al proporcionar las características de una tabla de posicionado debe evaluarse de acuerdo con 9.B.2.d.
5. Equipo que tiene las características especificadas en 9.B.2.d. que también cumple con las características de 9.B.2.c. será tratado como equipo especificado en 9.B.2.c.
6. Artículo 9.B.2.c. se aplica ya sea que se instalen o no deslizadores o dispositivos integrados sin contacto en el momento de la exportación.
7. Punto 9.B.2.e. se aplica ya sea que se instalen o no deslizadores o dispositivos integrados sin contacto en el momento de la exportación.

Naturaleza y propósito: El equipo de alineación, calibración y prueba se utiliza para construir, calibrar, probar y caracterizar estos instrumentos para cumplir con sus requisitos. Los giroscopios, acelerómetros e IMU son instrumentos de precisión que deben ser precisos y fiables a lo largo del tiempo. Particularmente importante es el equipo de prueba que somete a un instrumento a aceleraciones y cambios de orientación mientras mide la respuesta del instrumento a lo largo del tiempo. Este equipo es esencial para la fabricación de instrumentos inerciales de alta calidad. Cualquier equipo de prueba, calibración, alineación y producción especialmente diseñado se controla incluso si no se especifica en la lista.

Usos típicos relacionados con misiles: Este equipo es necesario para producir y calibrar instrumentos inerciales para su uso en misiles de todo tipo.

Otros usos: La mayoría de las naves espaciales, aeronaves y otros vehículos que utilizan unidades de navegación o guía inerciales requieren equipos y tecnologías similares para el desarrollo, la producción, las pruebas y la calibración. Sin embargo, muchas otras aplicaciones sin misiles pueden usar instrumentos inerciales con tasas de deriva más altas, menores tolerancias de vibración y aceleración, y menores requisitos de estabilidad. Por lo tanto, los equipos de prueba, calibración, alineación y producción para equipos inerciales sin misiles son a menudo menos sofisticados y menos precisos que los requeridos para misiles precisos.

Apariencia (como se fabrica): Equipo de alineación, calibración, prueba y producción especialmente diseñado para estos elementos de orientación y navegación descritos en 9.A. son generalmente artículos de producción limitada. Son tan diversos en tamaño, peso y apariencia como en función, y estas características cambian a medida que cambia la tecnología. Aunque lejos de ser una lista completa, a continuación, se proporcionan descripciones breves de algunos ejemplos.

Debido a que los giroscopios láser de anillo detectan el cambio de fase de las longitudes de onda diminutas en la luz, su precisión está determinada por la calidad de sus espejos. Los espejos deben tener una forma precisa y reflejar casi toda la luz que cae sobre ellos y no absorber ni dispersarlos. Los siguientes tres equipos están diseñados para caracterizar espejos para usar en tales giroscopios.

Un dispersómetro mide la tendencia de un espejo a dispersar la luz fuera de su dirección prevista con una precisión de 10 ppm o menos. Proporciona un haz de intensidad conocida y mide la intensidad de los rayos dispersos.

Un reflectómetro mide la capacidad de un espejo para reflejar la luz con una precisión de medición de 50 ppm o menos. Funciona haciendo brillar un haz de intensidad conocida en el espejo y midiendo la intensidad de la luz reflejada.

Un perfilómetro mide el perfil de la superficie óptica de un espejo con una precisión de 5 angstroms (5×10^{-10} m) o menos. Se utilizan varios métodos para mapear las variaciones diminutas en la superficie óptica. Este mapeo ayuda a determinar las desviaciones localizadas de la geometría teórica perfecta, ya sea que esté diseñado para ser plano, cóncavo o convexo.

La precisión de los sistemas de guiado inercial está determinada por la calidad de sus acelerómetros y giroscopios. La mayoría de los siguientes equipos caracterizan o prueban estos instrumentos a medida que funcionan por separado, como un conjunto o como una IMU completa.

Un probador de módulos de IMU opera un módulo IMU eléctricamente, simula entradas y recopila datos de respuesta para confirmar la operación eléctrica adecuada. Un probador de plataforma de IMU opera una plataforma de IMU completa, es decir, el elemento estable o IMU de amarre completamente operativo. Una tabla de velocidad de tres ejes, también conocida como simulador de movimiento, a menudo se usa como parte de un probador de plataforma de IMU. Dichas tablas se controlan en el Artículo 9.B.2.c. Una IMU probada por este equipo debería detectar correctamente la gravedad y la rotación de la Tierra a través de toda la orientación cambia sin malinterpretarlo como movimiento lateral o vertical y sin perder la noción de su alineación inicial con respecto a un marco de referencia de coordenadas fijo.

Un accesorio de manejo de elementos estables de IMU maneja de manera segura el elemento estable de IMU, es decir, la parte interna de una IMU flotante o flotante, que contiene los instrumentos inerciales. El manejo cuidadoso facilita numerosas manipulaciones necesarias sin degradar el elemento estable durante su montaje, prueba y ajuste.

Un dispositivo de equilibrio de la plataforma de IMU determina el desequilibrio de la plataforma de IMU y, por lo tanto, facilita los ajustes para establecer el equilibrio. El centro de equilibrio debe establecerse con precisión para evitar pares bajo aceleración y vibración durante el vuelo.



Imagen 93: Una tabla de tasas típica utilizada para sintonizar giroscopios. (Ideal Aeromsmith, Inc)

Una estación de prueba de sintonización giroscópica energiza el giroscopio al voltaje deseado en un rango de velocidades para determinar la mejor velocidad de rotación de operación, o rpm. Las mejores rpm se logran cuando los efectos de las fuentes de error giroscópico se minimizan como lo indican los datos recopilados. A typical rate table used as part of a gyro tuning test station is shown in Figure 93 and Figure 94.

Un banco de pruebas para el sintonizado de giroscopios equilibra con precisión los miembros giratorios de alta velocidad de los giroscopios por masa giratoria. El equilibrio es fundamental para el rendimiento y la longevidad del giroscopio. Estas máquinas equilibradoras están sujetas a control en el apartado 9.B.2.a. si tienen las características de rendimiento especificadas.

Una estación de prueba de giroscopio/prueba de motor energiza el giroscopio o motor de giroscopio a la tensión y frecuencia deseadas para acumular tiempo de funcionamiento y así romper los cojinetes del giroscopio y medir el rendimiento del motor a las rpm de diseño.

Una estación de prueba de giroscopio y evacuación purga una cavidad interna del giroscopio y la llena con la presión de diseño de un líquido o una mezcla de gases deseada. La mayoría de los giroscopios y acelerómetros se llenarán con un gas seco inerte para mejorar el rendimiento a largo plazo. Además, ciertos giroscopios tienen cavidades internas que necesitan un líquido específico de una densidad y viscosidad dada o una mezcla específica de gases para funcionar correctamente.

Un accesorio de centrifuga para rodamientos de giroscopio facilita la prueba de giroscopios en una centrifuga para confirmar la capacidad de los rodamientos para resistir las fuerzas de aceleración esperadas durante el vuelo. Los dispositivos de centrifugación también se utilizan para eliminar el exceso de lubricante de los anillos de retención de los cojinetes del giroscopio.

Una estación de alineación del eje del acelerómetro verifica la alineación del eje del acelerómetro girando el acelerómetro sobre su eje de entrada mientras el eje de entrada está horizontal. Esta prueba a menudo se repite después de las pruebas de vibración o los ciclos de temperatura para determinar las estabildades de alineación del eje de entrada. La alineación del eje de entrada del acelerómetro se verifica nuevamente después de la instalación en el nivel de la IMU para determinar las ligeras pero importantes desviaciones de la perpendicularidad mutua deseada del eje de entrada.

Las estaciones de prueba de acelerómetro se utilizan para probar la precisión con la que un acelerómetro puede medir la gravedad en un rango de posiciones y ángulos. Estos datos se utilizan para calibrar el instrumento. Los acelerómetros se montan en una superficie de mesa vertical y se vuelcan para experimentar una aceleración gravitacional mientras están en posición vertical y alternativamente boca abajo. Las estaciones de prueba de acelerómetro pueden ejecutar pruebas que incluyen control de temperatura, utilizando equipos de grabación de datos que toman datos durante un largo período de tiempo.

Las máquinas para el devanado de bobina giroscópica de fibra óptica se utilizan para enrollar el carrete de fibra óptica en el corazón de los giroscopios de fibra óptica (FOG). Las fibras ópticas FOG se enrollan típicamente mediante un proceso complejo conocido como devanado cuadrupolo mientras se aplican controles de proceso estrictos para asegurar una tensión óptima de la fibra, evitar la torsión de la fibra, lograr un contacto positivo en la superficie y eliminar espacios con la consiguiente pérdida de curvatura de la fibra. Este exigente proceso de devanar delicada fibra óptica en el carrete es un paso fundamental en la fabricación de un FOG de alta calidad.

Las máquinas equilibradoras se utilizan principalmente para equilibrar giroscopios por masa giratoria con un alto nivel de precisión. Las máquinas de equilibrio se controlan en el punto 9.B.2.a.

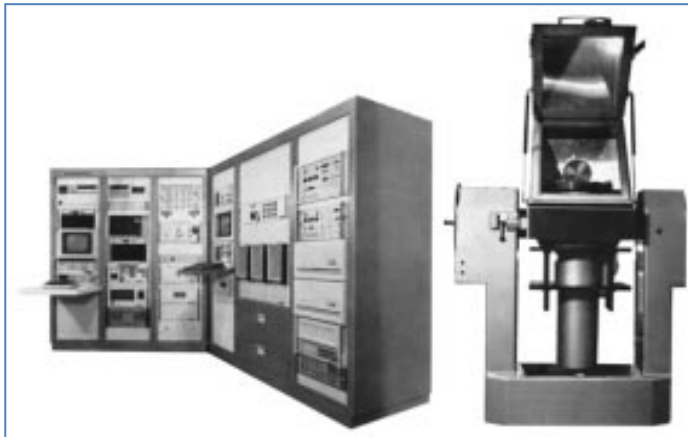


Imagen 94: Una estación de prueba de giroscopio que integra la velocidad de dos ejes que utiliza un simulador de movimiento/tabla de velocidad. (Contraves, Inc)

Las cabezas indicadoras son mesas redondas de precisión de acero que se pueden girar y bloquear en una dirección específica repetidamente sin pérdida de precisión. También se les conoce como probadores de caída, cabezales de indexación, mesas de posicionamiento y cabezales divisores. Cabezas indicadoras modificadas para su uso en máquinas de equilibrio enumeradas en el artículo 9.B.2.a. se controlan en el Artículo 9.B.2.b., y las cabezas indicadoras multieje de alta precisión (es decir, tablas de posicionamiento) se controlan en el Artículo 9.B.2.d.

Los simuladores de movimiento controlados y las tablas de velocidad son máquinas de precisión que giran una mesa de montaje sobre múltiples ejes a velocidades y ángulos conocidos con precisión.

Son normalmente se usa en el desarrollo de guiados para probar instrumentos y ensamblajes de la IMU como se describió anteriormente. La Imagen 95 muestra un simulador de movimiento giroscópico de dos ejes que integra la velocidad. Las tablas de tarifas se controlan en el Artículo 9.B.2.c.



Imagen 95: Izquierda: un sistema de perfilómetro utilizado para medir espejos. (Instrumentos digitales) Centro a la izquierda: es otro probador de IMU portátil conectado a una IMU en miniatura. (Sistemas de guiado y control de Litton) Centro a la derecha: es una tabla de tres ejes para probar IMU o giroscopios.

Se usa una centrífuga como parte de una estación de prueba de acelerómetro para determinar las no linealidades del acelerómetro en un rango sustancialmente superior al más y menos un g disponible en las pruebas de caída. Las centrifugadoras se controlan en el punto 9.B.2.e.

Apariencia (como empaquetado): El embalaje varía mucho con el tamaño, el peso y la sensibilidad del equipo específico. Sin embargo, debido a que la mayoría de estos artículos son equipos de precisión sensibles a golpes u óxido, es probable que el empaque sea robusto, con acolchado y cubiertas para proteger contra golpes y humedad. Gran parte del equipo se puede desmontar y enviar en contenedores o cajones separados.

9.C. Materiales

Ninguno.

9.D. Programas informáticos

9.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de los equipos especificados en 9.A. o 9.B.

- Austria
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Pakistán
- Sudáfrica
- Suecia
- Ucrania
- Estados Unidos
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Noruega
- Federación de Rusia
- España
- Suiza
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: Los sistemas integrados de instrumentos de vuelo utilizan un programa informático para interpretar y traducir la información recopilada desde fuera del fuselaje a información de reconocimiento, orientación al blanco o guía. Las brújulas giroscópicas, los giroscopios láser de anillo y los instrumentos inerciales sensibles utilizados en otras aplicaciones se pueden instalar y utilizar en sistemas de navegación con sistema de misiles como sensores utilizados con un ordenador de vuelo para determinar la información de aceleración, velocidad y posición de alta precisión. Cada uno de estos sistemas requiere un programa informático especializado que incorpore la salida del sensor y compense las señales de error, como la deriva.

El programa informático de guiado de terminal integra la salida de muchos sensores para guiar el arma liberada a su objetivo. Los acelerómetros especialmente resistentes se utilizan en vehículos de reentrada para determinar la magnitud de la desaceleración rápida. El arma puede habilitarse o activarse cuando el valor de desaceleración está en un valor predeterminado.

El programa informático instalado en un ordenador de vuelo del UAV se utiliza para lanzar y volar el UAV a su objetivo y activar la carga útil (cámara, arma, etc.) una vez sobre el objetivo. Los sistemas de guiado inercial de UAV pueden ser aumentados por sistemas adicionales que hacen uso de señales de radio terrestres, señales GNSS o conjuntos de astro-giroscopio que identifican puntos de referencia celestes.

Se utilizan otros tipos de programa informático para probar, calibrar y alinear conjuntos de sistemas de guiado. Los componentes del sistema de guiado se colocan en estaciones de prueba y se someten a una variedad de pruebas diseñadas para medir características tales como factores de deriva y escala. Los instrumentos aparentemente idénticos tendrán características que varían de una unidad a otra. Cada dispositivo debe ser caracterizado. Los datos recopilados por estas pruebas se agregan al programa de vuelo como una forma de factor de corrección para ese instrumento.

Método de operación: El sistema integrado de instrumentos de vuelo forma una serie de sistemas de navegación redundantes que resultan en una navegación altamente precisa. Una brújula giroscópica instalada en un UAV o sistema de cohete utiliza un programa informático de navegación para determinar (al recibir uno o más "bloques de estrella") su velocidad, ubicación y rumbo. Los sistemas de navegación automatizados pueden usar este concepto para seguir rutas de vuelo preprogramadas a su área objetivo. Los giroscopios se utilizan para mantener la orientación de la plataforma inercial en el espacio mientras el cohete o el sistema UAV está en el suelo y a través de un vuelo motorizado. Las subrutinas de programa informático de vuelo contienen factores de corrección tales como datos de velocidad de deriva. El ordenador de vuelo procesa esta información y emite señales de corrección para apretar motores montados en los cardanes de la plataforma. Estos motores mantienen la plataforma en una orientación estable durante todo el vuelo. La información de los acelerómetros montados en la plataforma estable se envía a el ordenador de vuelo como datos de aceleración. El programa informático de vuelo recopila estos datos y, después de incorporar datos adicionales integrados del sistema de instrumentos de vuelo, emite señales de dirección y control para dirigir la célula hacia el objetivo.

Las versiones especiales del programa informático de vuelo incorporan las señales de salida de sensores de navegación adicionales para actualizar o aumentar los datos de guiado inercial. Las brújulas giroscópicas envían datos de posición de estrella o satélite al ordenador de vuelo. El programa informático en el ordenador de vuelo puede usar estos datos para actualizar la información de posición o aumentar los datos de aceleración detectados por inercia. Los giroscopios láser de anillo proporcionan información de desalineación de plataforma muy precisa que se puede utilizar para mantener una orientación estable de la plataforma a lo largo de una serie de maniobras de vuelo y aceleraciones de vuelo.

Las estaciones de prueba y calibración se utilizan para medir los defectos del sistema de guiado, como la deriva giroscópica, y proporcionar datos de caracterización utilizados en el programa de vuelo para compensar estas deficiencias. Las estaciones de alineación confirman la calidad y la idoneidad de la instalación y calibración de instrumentos inerciales en la plataforma estable. Estos procedimientos toman el mayor tiempo de desarrollo y agregan el mayor costo a cada instrumento. Los instrumentos idénticos fabricados en equipos comunes requieren pruebas y calibraciones detalladas para determinar con precisión las características individuales.

Usos típicos relacionados con misiles: El tipo de programa informático controlado bajo el Artículo 9.D.1. se utiliza para proporcionar una navegación UAV y un sistema de cohetes de alta precisión. 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.

Otros usos: Los elementos de los sistemas integrados de instrumentos de vuelo (radar, sistemas láser y equipos de búsqueda de dirección) se utilizan en aeronaves civiles y militares para aumentar los sistemas de navegación inercial. Los componentes de navegación inercial de menor calidad se pueden usar en la medición durante las aplicaciones de perforación. El programa informático utilizado para probar, calibrar y alinear estos instrumentos se encuentra en instalaciones de prueba y reparación de aeronaves civiles y militares.

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 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.

9.D.2. "Programas informáticos" de integración para el equipo especificado en 9.A.1.

- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Pakistán
- Sudáfrica
- Suecia
- Ucrania
- Estados Unidos
- Francia
- India
- Italia
- Noruega
- Federación de Rusia
- España
- Suiza
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: El programa informático de integración de sistemas cohete o UAV para el equipo especificado en 9.A.1. se utiliza para acoplar la salida de un giroestabilizador, un piloto automático u otros instrumentos de vuelo integrados a el ordenador de vuelo. El ordenador de vuelo incorpora información de estos dispositivos de navegación auxiliares con datos proporcionados por los instrumentos montados dentro del sistema de navegación inercial. El resultado es una guía precisa y comandos de dirección utilizando instrumentos de navegación menos costosos.

Método de operación: El programa informático de navegación del sistema de cohete o UAV almacenado en el ordenador de vuelo acepta información del sistema integrado de instrumentos de vuelo. Esta información de posición se evalúa contra la trayectoria planificada, y el ordenador de vuelo emite correcciones o comandos de dirección al sistema de control de vuelo.

Usos típicos relacionados con misiles: Este programa informático se utiliza para admitir la navegación del sistema de cohetes y UAV.

Otros usos: Este programa informático también se puede utilizar para soportar sistemas de guiado de aeronaves civiles y militares.

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.

9.D.3. "Programas informáticos" de integración especialmente diseñados para el equipo especificado en 9.A.6.

- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Pakistán
- Sudáfrica
- Suecia
- Ucrania
- Estados Unidos
- Francia
- India
- Italia
- Noruega
- Federación de Rusia
- España
- Suiza
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: El programa informático de integración especialmente diseñado para los equipos o sistemas especificados en 9.A.6. se utiliza para integrar giroscopios, acelerómetros y conjuntos de plataformas inerciales o estables que se utilizan en aplicaciones que no son de guiado (como antenas de rastreo satelital, cámaras de vídeo, etc.) en aplicaciones de control y UAV o sistemas de cohetes.

Método de operación: Los instrumentos de guiado de inercia de mayor calidad, como giroscopios, acelerómetros y plataformas estables suficientemente resistentes que se utilizan para estabilizar plataformas de cámara, mecanismos de perforación de guiado, etc., se pueden usar como componentes del sistema de guiado de cohetes centrales y del sistema UAV con la aplicación del programa informático de integración apropiado. Este programa informático es similar al programa informático de la unidad de medida inercial diseñado para aplicaciones específicas de guiado de vehículos de vuelo. Está escrito y probado usando el mismo equipo de prueba y calibración que el utilizado para el equipo informático del sistema de guiado más especializado.

Usos típicos relacionados con misiles: Este programa informático se utiliza únicamente para dar apoyo al UAV y la navegación de sistemas de cohetes.

Otros usos: Los elementos de los sistemas integrados de instrumentos de vuelo (radar, sistemas láser y equipos de búsqueda de dirección) se utilizan en aeronaves civiles y militares para aumentar los sistemas de navegación inercial. El programa informático utilizado para probar, calibrar y alinear estos instrumentos se encuentra en instalaciones de prueba y reparación de aeronaves civiles y militares.

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.

9.D.4. "Programas informáticos" de integración, diseñados o modificados para los 'sistemas de navegación integrada' especificados en 9.A.7.

Nota:

Una forma común de "programas informáticos" de integración emplea el filtrado de Kalman.

Naturaleza y propósito: Programas informáticos de integración, diseñados o modificados para los 'sistemas de navegación integrada' especificados en 9.A.7. integra las salidas de los instrumentos de medición de inercia y otros sensores externos en un sistema que proporciona información utilizada por el ordenador de vuelo para calcular continuamente información de altitud, posición y velocidad. El filtrado de Kalman es un procedimiento de programa informático que estima la posición y la velocidad de un vehículo en el tiempo en función del rendimiento conocido del vehículo de vuelo y luego actualiza periódicamente esa estimación utilizando la información filtrada proporcionada por otros componentes del sistema de guiado. El filtro utilizado en la navegación de vuelo del sistema de cohete o UAV evalúa las señales de información de posición para eliminar mediciones aleatorias o erróneas (ruido) de otros instrumentos del sistema de navegación integrado.

Método de operación: El programa informático de vuelo del sistema de cohete o UAV se puede escribir o modificar para incorporar este programa informático integrador. Inicialmente se prueba con el mismo equipo de prueba y calibración que el utilizado para el equipo informático del sistema de guía más especializado y se prueba mediante una serie de pruebas de vuelo.

Usos típicos relacionados con misiles: Este programa informático se utiliza para admitir la navegación de vehículos aéreos no tripulados y cohetes de alta precisión.

Otros usos: Este programa informático también se puede utilizar para soportar sistemas de guiado de aeronaves civiles y militares.

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.

Nota:

Equipo o "programas informáticos" especificados en 9.A. o 9.D. pueden exportarse como parte de una aeronave tripulada, satélite, vehículo terrestre, embarcación marina/submarina o equipo de prospección geofísica o en cantidades apropiadas para piezas de repuesto para tales aplicaciones.

9.E. Tecnología

9.E.1. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos especificados en 13.A.

Nota:

Equipo o "programas informáticos" especificados en 9.A. o 9.D. pueden exportarse como parte de una aeronave tripulada, satélite, vehículo terrestre, embarcación marina/submarina o equipo de prospección geofísica o en cantidades apropiadas para piezas de repuesto para tales aplicaciones.

- | | |
|----------------|------------------|
| •Argentina | •Australia |
| •Brasil | •China |
| •Dinamarca | •Francia |
| •Alemania | •India |
| •Israel | •Italia |
| •Japón | •Federación Rusa |
| •Corea del Sur | •Suecia |
| •Suiza | •Ucrania |
| •Reino Unido | •Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: La tecnología del sistema de guiado del sistema de cohete o UAV resuelve problemas de control dinámico muy complicados. Los ingenieros de misiles y guías deben conocer todos los aspectos físicos de los dispositivos utilizados para producir una navegación precisa. Este conocimiento generalmente se obtiene a través de una serie de ejercicios de modelado por ordenador, pruebas de banco y pruebas de vuelo. La integración de diversas herramientas de navegación, como un piloto automático, plataformas estabilizadas por giro y otros componentes activos como el radar, el láser o el receptor GPS es una tarea compleja. Desarrollar equipos de prueba y producción para apoyar esta actividad es igualmente desafiante. El diseñador debe conocer lo más completamente posible las características precisas de los dispositivos que

serán probados e interconectados en el banco de pruebas para desarrollar los requisitos del programa informático de simulación. Los gerentes de producción pueden diseñar y construir equipos de producción e integración de sistemas de orientación basados en los diseños finales determinados en los laboratorios. Gran parte de la tecnología necesaria para completar estas tareas solo viene con experiencia.

Método de operación: Al principio de un programa de desarrollo, la tecnología de integración de diseño a menudo se manifiesta en un programa informático que modela el fuselaje y los sistemas de propulsión, orientación y control del vehículo. El programa informático simula el comportamiento del sistema de guiado en todos los regímenes de vuelo esperados y predice el rendimiento teórico.

El diseñador puede cambiar los parámetros del subsistema, volver a ejecutar la simulación y elegir los parámetros que ofrecen el mejor rendimiento. Más adelante en el programa de desarrollo, se pueden utilizar simulaciones de "equipo informático en el circuito" cuando los componentes y subsistemas de guiado reales están conectados entre sí en un banco de pruebas. El ordenador simula el entorno de vuelo y el equipo informático que falta en la simulación.

Usos típicos relacionados con misiles: Esta tecnología se utiliza para proporcionar y mejorar el rendimiento y la precisión del sistema de guiado para los sistemas de cohetes y UAV. Igualmente, importantes son los requisitos para diseñar, desarrollar, producir y utilizar equipos y programa informático de prueba y verificación en tierra.

Otros usos: Esta tecnología también se puede utilizar para fabricar componentes utilizados para apuntar con precisión antenas parabólicas, estabilizar cámaras de vídeo para fotografía de largo alcance (incluida la instrumentación de alcance de prueba de misiles balísticos) y otros fines civiles y militares.

Apariencia (como se fabrica): N/C.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

Categoría II - Artículo 10

Control de vuelo

Artículo 10 - Control de vuelo

10.A. Equipos, ensamblajes y componentes

10.A.1. Sistemas de control de vuelo neumáticos, hidráulicos, mecánicos, electroópticos o electromecánicos, incluidos los tipos de vuelo controlado por señales eléctricas (fly-by-wire) y por señales ópticas (fly-by-light), diseñados o modificados para los sistemas especificados en 1.A.

- Australia
- Bélgica
- Canadá
- República Checa
- Francia
- Grecia
- India
- Italia
- Noruega
- Rumania
- Sudáfrica
- Suecia
- Turquía
- Estados Unidos
- Austria
- Brasil
- China
- Egipto
- Alemania
- Hungria
- Israel
- Japón
- Portugal
- Federación de Rusia
- República de Corea
- Suiza
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: El sistema de control de vuelo proporciona y controla los mecanismos de dirección necesarios para un cohete o sistema UAV para lograr un vuelo estable y ejecutar maniobras posteriores sin perder la estabilidad. Normalmente recibe comandos de dirección del conjunto de guiado, el ordenador de la misión o el sistema integrado de instrumentos de vuelo.

El sistema de control de vuelo incluye los actuadores para mover las superficies de control, apuntar las toberas, controlar los flujos y activar los propulsores. También incluye sensores para detectar cambios de actitud, velocidad de cambio de actitud, velocidad, altitud, ajuste del acelerador, temperatura del aire y presión del aire. Estas salidas de sensor a menudo son compartidas por otros mecanismos en el cohete o UAV. El sistema de control de vuelo se distribuye por todo el cohete o UAV y, a veces, se superpone con partes de otros sistemas.

La información transmitida desde los sensores a el ordenador de control de vuelo y a los actuadores es analógica o digital y puede enrutarse mediante cables eléctricos (fly-by-wire). Los sistemas de última generación pueden utilizar fibras ópticas

(fly-by-light) para proporcionar comunicación digital entre los componentes de control de vuelo. Las conexiones ópticas son más livianas y reducen en gran medida la susceptibilidad a los efectos del pulso electromagnético, la interferencia electromagnética y los rayos.

Método de operación: Cuando los sistemas de UAV, incluidos los misiles de crucero, necesitan maniobrar (girar, subir, etc.), el sistema integrado de instrumentos de vuelo ordena un cambio de rumbo o altitud. El sistema de control de vuelo ajusta los actuadores para las superficies de control para introducir inclinación, balanceo y/o guiñada; mantiene esa configuración hasta que la orientación ha cambiado; y luego reinicia los actuadores para mantener el nuevo perfil. Los sistemas de control de vuelo a menudo funcionan en conjunto con un estabilizador giroscópico o piloto automático (piloto automático), que determina los movimientos de superficie de control necesarios para lograr las maniobras deseadas. Los pilotos automáticos también compensan continuamente las perturbaciones ambientales. Los sistemas de cohetes también pueden usar sistemas de control de vuelo que funcionan de manera similar, pero los cohetes usan control de vector de empuje y, a veces, pequeños jets de dirección para cambiar de dirección. Algunos sistemas de cohetes también usan aletas aerodinámicas mientras están en la atmósfera.

Usos típicos relacionados con misiles: Se requieren sistemas de control de vuelo para lograr un vuelo estable y ejecutar maniobras sin perder estabilidad. Estos sistemas generalmente se adaptan a las características de vuelo y al perfil de misión del cohete o sistema UAV y, por lo tanto, tienden a ser específicos del sistema. La mayoría de los cohetes y vehículos aéreos no tripulados utilizan estos sistemas.

Otros usos: Los componentes utilizados en los sistemas de control de vuelo de misiles también se pueden utilizar en aviones militares y civiles.

Apariencia (como se fabrica): El sistema de control de vuelo no es una sola unidad integral; se distribuye por todo el misil. Las partes del sistema de control de vuelo con mayor probabilidad de ser encontradas incluyen actuadores, ensamblajes electrónicos, cables especializados y algunos sensores.

Apariencia (como empaquetado): Las superficies de control aerodinámico y los actuadores son piezas de equipo bastante robustas. El embalaje típico incluye cajones de madera y cajas de cartón o madera. Se unen de forma segura al contenedor de envío para evitar movimientos y probablemente estén empacados en espuma con la forma de la pieza. Los sensores utilizados en los sistemas de control de vuelo son a menudo más delicados y normalmente están envueltos individualmente y asegurados en una caja o cajón resistente a los golpes. A menudo se envuelven en una bolsa a prueba de humedad.

10.A.2. Equipo de control de actitud diseñado o modificado para los sistemas especificados en 1.A.

- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Reino Unido
- Francia
- India
- Italia
- Federación Rusa
- Estados

Producción global



Naturaleza y propósito: El control de actitud es diferente de la orientación. La orientación se centra en la garantía de que un vehículo alcanza una posición predeterminada en un momento dado. El control de actitud asegura que la célula tenga una cierta orientación en el espacio en determinados momentos. Existen tres métodos fundamentales para controlar la actitud de un vehículo de vuelo: el uso de fuerzas aerodinámicas (alas), el desvío del empuje del motor principal del cohete y el uso de dispositivos auxiliares que producen empuje.

Método de operación: Los actuadores utilizados para mover las superficies de control aerodinámico de un UAV pueden ser rotativos o lineales. Un actuador rotativo puede ser alimentado por un motor eléctrico y responde proporcionalmente a un comando de entrada.

El actuador es parte de un sistema de control de circuito cerrado, que incluye un amplificador y un método para detectar la posición del actuador. La salida mecánica del actuador es un cubo que puede aceptar un eje de superficie de control o un eje sobre el que se puede montar una superficie. En la Imagen 96 se muestra un actuador para el control del vector de empuje (TVC) utilizado en cohetes, incluidos los vehículos de lanzamiento espacial. En la Imagen 97 se muestra un actuador lineal utilizado para controlar el paso de las palas del rotor en los UAV. A veces un actuador no solo debe ser capaz de rotar la superficie de control en una fuerza aerodinámica significativa sino también de soportar toda la masa de la superficie durante los lanzamientos y maniobras de alta aceleración.

Los actuadores lineales están conectados a las superficies de control a través de enlaces mecánicos que convierten el movimiento lineal del actuador en un movimiento angular de la superficie de control. Estos actuadores funcionan con un motor eléctrico, gas a presión o fluido hidráulico.



Imagen 97: Un subsistema de control de vector de empuje electromecánico, con actuador lineal y caja electrónica asociada, utilizada en cohetes, incluidos vehículos de lanzamiento espacial. (Moog, Inc)



Imagen 96: Un actuador lineal utilizado para colocar el paso de las paletas del rotor en un vehículo aéreo no tripulado con rotor de inclinación y diseñado para operar en condiciones ambientales y de resistencia extremas. (Moog, Inc)

Usos típicos relacionados con misiles: Las aletas y timones del sistema UAV se utilizan para corregir imprecisiones en la trayectoria de vuelo que son detectadas por el sistema de guiado o para iniciar comandos de dirección a un nuevo rumbo o altitud. Los dispositivos de control de vectores de empuje del sistema de cohetes se utilizan para los mismos fines.

Otros usos: Los componentes utilizados en UAV y los sistemas de control de vuelo del sistema de cohetes también se pueden utilizar en aviones militares y civiles.

Apariencia (como se fabrica): Los componentes del sistema de control de vuelo se distribuyen por todo el misil. Los sensores, amplificadores y otros componentes están alojados en cajas selladas. Los actuadores se colocan o se fabrican integralmente con una superficie de control de vuelo. Los actuadores utilizados para mover las superficies de control aerodinámico de un UAV, incluidos los misiles de crucero, pueden ser rotativos o lineales.

Apariencia (como empaquetado): Las superficies de control aerodinámico y los actuadores son piezas de equipo bastante robustas. El embalaje típico incluye cajones de madera y cajas de cartón o madera. Se unen de forma segura al contenedor de envío para evitar movimientos y probablemente estén empacados en espuma con la forma de la pieza. Los sensores utilizados en los sistemas de control de vuelo son a menudo más delicados y normalmente están envueltos individualmente y asegurados en una caja o cajón resistente a los golpes. A menudo se envuelven en una bolsa a prueba de humedad.



Imagen 98: Un actuador de control de vuelo electromecánico para una aleta trasera de un pequeño misil. (Daimler Benz Aerospace)

10.A.3. Servoválvulas de control de vuelo diseñadas o modificadas para los sistemas en 10.A.1. o 10.A.2., y diseñadas o modificadas para operar en un entorno de vibración mayor de 10 g rms entre 20 Hz y 2 kHz.

Nota:

Sistemas, equipos o válvulas especificados en 10.A. pueden exportarse como parte de una aeronave tripulada o satélite o en cantidades apropiadas para piezas de repuesto para aeronaves tripuladas.

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

Producción global



Naturaleza y propósito: Una servoválvula es una válvula de accionamiento eléctrico que utiliza retroalimentación para controlar con precisión la posición de un dispositivo interno (tobera de aleta o tubo de chorro) para controlar el flujo de fluido. El término servoválvula electrohidráulica se usa a menudo porque las servoválvulas se controlan a través de una señal eléctrica y generalmente se usan en sistemas hidráulicos. Las servoválvulas funcionan con una precisión muy alta, una repetibilidad muy alta, una histéresis muy baja y una respuesta de frecuencia muy alta. Los sistemas de servoválvula presentan características de alta respuesta, alta confiabilidad, control de posición preciso, control de velocidad y control de fuerza.

Las servoválvulas se usan cuando se requiere un control de posición preciso. El control de posición se logra a través de un sistema de control de circuito cerrado, que consta de un sensor de comando, un sensor de retroalimentación, un controlador digital o analógico y la servoválvula. Las servoválvulas se pueden usar para controlar actuadores hidráulicos o motores hidráulicos. Una combinación de servoválvula y actuador se conoce como servo actuador. La principal ventaja de una servoválvula es que se puede usar una señal eléctrica de baja potencia para posicionar con precisión un actuador o motor.

Método de operación: Los componentes principales en una servoválvula son un motor de torque, una tobera de aleta o un tubo de chorro y uno o más carretes (servo). Los servos en las servoválvulas aeroespaciales suelen tener cero solapamientos, lo que significa que el ancho de la vuelta y el ancho del puerto de flujo son iguales. Por lo tanto, solo hay una posición para flujo cero. Esta configuración generalmente da como resultado el control más estricto y se selecciona comúnmente para servoválvulas de alta precisión.

La servoválvula tiene una entrada de presión hidráulica y una entrada eléctrica para el motor de par. La corriente de entrada controla la posición de la aleta. La posición de la aleta controla la presión en las cámaras del actuador. Por lo tanto, una corriente (+ o -) colocará la aleta, lo que provocará una diferencia de presión en el servo, lo que hará que el servo se mueva en una dirección u otra. El movimiento del servo conecta la presión hidráulica a un lado del actuador o al otro, mientras que el lado opuesto del actuador regresa.

La mayoría de las servoválvulas incorporan un resorte de retroalimentación entre el carrete piloto y la aleta. Si la aleta se mueve hacia la izquierda, el diferencial de presión en el carrete piloto mueve el carrete hacia la derecha.

El cable de retroalimentación jalará la aleta hacia la posición neutral. Por lo tanto, el cable de retroalimentación proporciona una fuerza estabilizadora a la aleta y ayuda a mejorar la estabilidad y la respuesta del sistema de aleta. La posición del servo está determinada por un equilibrio de fuerza en el carrete, que incluye el diferencial de presión creado a partir de la tobera de aleta, las fuerzas de fricción, las fuerzas de resorte y las fuerzas de flujo que actúan sobre el carrete.

Usos típicos relacionados con misiles: El control de vector de empuje (TVC) se usa cuando las superficies aerodinámicas son inadecuadas para controlar el misil o cuando se requiere una mayor agilidad del misil. El subsistema TVC se utiliza para hacer cardán todo el motor de cohete (típico para motores líquidos) o para cardán la tobera de cohete (típico para motores de cohete sólido) o mover paletas en la sección de tobera de la cámara de empuje para proporcionar una dirección precisa del misil. El movimiento del cardán o de la paleta se realiza mediante actuadores. Los movimientos de los actuadores hidráulicos están controlados por servoválvulas, que a su vez están controladas por comandos del sistema de guiado del vehículo.

Otros usos: Las servoválvulas se encuentran en una amplia gama de aplicaciones industriales modernas debido a su capacidad para manejar grandes cargas de inercia y par y, al mismo tiempo, lograr respuestas rápidas y un alto grado de precisión y rendimiento. Las aplicaciones típicas incluyen sistemas de suspensión activa, control de robots industriales y procesamiento de plástico. También son omnipresentes en aviones comerciales, satélites, vehículos de lanzamiento, simuladores de vuelo, control de turbinas y numerosas aplicaciones militares.

Apariencia (como se fabrica): Las servoválvulas utilizadas en los sistemas de control de vuelo pueden construirse de acero inoxidable y tener pivotes de montaje en cada extremo. Las conexiones hidráulicas y eléctricas se encontrarán en el costado del dispositivo. Los indicadores de posición proporcionan señales de retroalimentación a el ordenador de vuelo y pueden estar disponibles a través de un conector eléctrico separado.

Apariencia (como empaquetado): Las servoválvulas de control de vuelo son piezas de equipo bastante robustas, pero tienen mecanismos indicadores de posición sensibles conectados o integrados en la carcasa. El embalaje típico incluye cajas de cartón o madera. Se unen de forma segura al contenedor de envío para evitar movimientos y probablemente estén empacados en espuma con la forma de la pieza. A menudo se envuelven en una bolsa a prueba de humedad.

10.B. Equipo de prueba y producción

10.B.1. Equipos de prueba, calibración y alineación especialmente diseñados para equipos especificados en 10.A.

Naturaleza y propósito: El equipo de prueba, calibración y alineación del sistema de control de vuelo incluye las utillaje y accesorios especializados necesarios para soportar mecánicamente y proporcionar señales de prueba eléctrica y de potencia a los componentes electrónicos del sensor y los componentes del subsistema del actuador. Estas piezas de equipo de prueba también se pueden usar para soportar el actuador y otras pruebas de calibración, alineación, funcional y operativa a nivel de subcomponentes. Toman la forma de bancos de pruebas y bancos que usan agua o algún otro fluido como estimulante o los fluidos hidráulicos o propulsantes que se emplearán durante el uso operativo.

Método de operación: Los ordenadores de la sección de prueba proporcionan señales simuladas de dirección y corrección a las unidades del sistema de control de vuelo en condiciones de prueba y registran el actuador resultante o el movimiento de la superficie de control. Cada subsistema puede evaluarse para determinar la precisión del movimiento, así como la tasa de cambio y la respuesta de frecuencia máxima. Las estaciones de prueba a menudo contienen equipos que se utilizan para confirmar la alineación de la superficie de control aerodinámico a las posiciones nulas y ordenadas.

Usos típicos relacionados con misiles: Los sistemas de control de vuelo son circuitos sintonizados que utilizan información de retroalimentación de actuadores u otros sensores. El equipo de prueba detallado en esta sección no solo prueba, calibra y alinea las superficies de control en relación con las señales de entrada, sino que también captura los datos de salida utilizados para calibrar y caracterizar el rendimiento de un actuador. Estos datos se utilizan en el programa de vuelo para definir la respuesta individual del actuador y las características de rendimiento.

Otros usos: Este equipo de prueba también se puede usar para probar, alinear y calibrar equipos de control de vuelo utilizados en aviones militares y civiles.

Apariencia (como se fabrica): El equipo de prueba de control de vuelo se parece a un aparato de laboratorio estándar que se encuentra en universidades más grandes o industrias aeroespaciales, como túneles de viento, bancos de prueba electrónicos, dispositivos de calibración láser, bancos de prueba hidráulicos o hidrodinámicos, etc. El equipo consistirá en un equipo de prueba electrónico, posiblemente controlado por ordenador, suministros de energía eléctrica y posiblemente hidráulica y equipos mecánicos rígidos para montar actuadores de control de vuelo y superficies de control. Los puntos de calibración y los accesorios de alineación se pueden incorporar en estos montajes.

Apariencia (como empaquetado): Los equipos nuevos o las piezas de repuesto se envían por separado en cajas o se protegen en palets para el montaje in situ. 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. El equipo de prueba suele ser frágil y está muy marcado. Incluirá equipos informáticos, estaciones de prueba y los correspondientes componentes de soporte e interfaz. Puede haber sistemas de presurización hidráulica y accesorios de alineación de precisión incluidos con los conjuntos. Los artículos más grandes pueden ser paletizados o embalados en grandes cajas de madera o metal, mientras que los artículos más pequeños estarán en cajas de cartón o madera.

10.C. Materiales

Ninguno.

10.D. Programas informáticos

10.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de los equipos especificados en 10.A. o 10.B.

Nota:

"Programas informáticos" especificados en 10.D.1. puede exportarse como parte de una aeronave tripulada o satélite o en cantidades apropiadas para piezas de repuesto para aeronaves tripuladas.

- Australia
- Bélgica
- Bulgaria
- China
- Egipto
- Alemania
- Hungría
- Israel
- Japón
- Portugal
- Federación Rusa
- Sudáfrica
- Suecia
- Taiwán • Turquía
- Reino Unido
- Austria
- Brasil
- Canadá
- República Checa
- Francia
- Grecia
- India
- Italia
- Noruega
- Rumanía
- República de Corea
- Suiza
- Estados Unidos

Producción global



Naturaleza y propósito: El programa informático de vuelo utilizado en los sistemas de cohetes y UAV proporciona comandos de control y dirección enviados a los actuadores del sistema de control de vuelo. Estos actuadores luego cambian la posición de las superficies de control del UAV o alteran el vector de empuje del cohete o las superficies aerodinámicas para modificar la trayectoria de vuelo. Se utiliza otro programa informático para probar, calibrar, alinear y mantener los sensores e instrumentos del sistema de control de vuelo y el equipo informático del actuador.

Método de operación: El programa informático del sistema de control de vuelo le dice al controlador de vuelo (los "cerebros" del sistema) cómo interpretar y traducir la información suministrada por los sensores de guiado en comandos de dirección a actuadores de control de vuelo individuales. Estos comandos corrigen continuamente la trayectoria de vuelo del vehículo a medida que se detectan errores menores en la orientación angular (dirección de puntería del cohete o UAV) y en la ruta de vuelo. También se pueden usar para dirigir el vehículo a un nuevo rumbo de vuelo siguiendo la información de rumbo y trayectoria almacenada en el ordenador principal de vuelo. Se utilizan varios tipos de programa informático de soporte en tierra en instalaciones de laboratorio y mantenimiento para probar el equipo informático del sensor y el actuador o para

calibrar y mantener el sistema después de que una o más partes hayan sido reemplazadas. Los ordenadores conectados al equipo de banco de pruebas pueden proporcionar señales de simulación apropiadas a un dispositivo sensor de control de vuelo y medir su salida. La salida del sensor también se proporciona al actuador de control y el equipo de prueba mide su salida. Los láseres u otras herramientas de medición de alta calidad se utilizan para determinar la precisión de la alineación y el movimiento para la dirección de la tobera del cohete, o de manera similar para las superficies de control aerodinámico. Según las especificaciones de diseño, el técnico de reparación puede hacer ajustes para adaptar el equipo a las tolerancias de diseño.

Usos típicos relacionados con misiles: El programa informático del sistema de control de vuelo se carga en la memoria del ordenador de vuelo del UAV o del sistema de cohetes y generalmente es una parte funcional del programa informático de vuelo. Se utiliza durante el vuelo para monitorear la posición y trayectoria suministrada por el sistema de guiado. El ordenador de vuelo emite comandos de dirección, después de evaluar estos datos con información preprogramada, a los actuadores de control de vuelo individuales para corregir cualquier error de posición detectado.

Otros usos: El programa informático utilizado en UAV y sistemas de control de vuelo de cohetes también se puede utilizar en aviones militares y civiles. El programa informático de soporte en tierra también puede usarse en estas industrias para probar y mantener sistemas de control de aviones y cohetes. El programa informático para automóviles sin conductor tiene similitudes subyacentes con el programa informático para cohetes de dirección y vehículos aéreos no tripulados, aunque la implementación detallada difiere significativamente.

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, incluida la cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos, puede contener este programa informático y estos datos.

Apariencia (como empaquetado): La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos 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.

10.E. Tecnología

10.E.1. Diseño de "tecnología" para la integración de fuselaje de vehículos aéreos, sistema de propulsión y superficies de control de elevación, diseñado o modificado para los sistemas especificados en 1.A.2. o 19.A.2., para optimizar el rendimiento aerodinámico a lo largo del régimen de vuelo de un vehículo aéreo no tripulado.

Naturaleza y propósito: El vuelo atmosférico estable y controlado es un problema de control dinámico muy complicado. Resolverlo requiere un conocimiento profundo de todos los subsistemas y sus interacciones en todos los regímenes de vuelo. Este conocimiento se genera normalmente mediante pruebas de túnel de viento, modelado por ordenador para simular el rendimiento del vehículo y un programa detallado de prueba de vuelo. La tecnología de integración de diseño permite a los diseñadores de sistemas UAV (incluidos los misiles de crucero) dimensionar, configurar y optimizar todos los subsistemas; tener en cuenta sus interacciones a menudo complicadas; y por lo tanto para minimizar errores. Por lo tanto, esta tecnología disminuye el tiempo para diseñar, probar y producir un UAV y también puede apoyar los esfuerzos para mejorar el rendimiento.

Método de operación: La tecnología de integración de diseño generalmente incluye un programa informático especialmente diseñado que se utiliza al principio de un programa de desarrollo de vehículos aéreos no tripulados y luego se refina para modelar las características aerodinámicas del fuselaje, junto con los sistemas de propulsión y guía y control del vehículo. El diseñador puede cambiar los parámetros del sistema de control de vuelo, volver a ejecutar la simulación y elegir los parámetros que brinden el mejor rendimiento. Más adelante en el programa de desarrollo, se pueden utilizar simulaciones de "equipo informático en el circuito" que integran sistemas de control de vuelo en un banco de pruebas, mientras que estos sistemas están conectados a un ordenador que simula el entorno de vuelo.

Se pueden utilizar otros equipos de prueba, como los túneles de viento, para replicar las condiciones de vuelo y las respuestas aerodinámicas como parte de las simulaciones.

Usos típicos relacionados con misiles: La tecnología de integración de diseño se utiliza para diseñar e integrar los sistemas de control de vuelo que se encuentran en los sistemas UAV, incluidos los misiles de crucero.

Otros usos: Algunas "tecnologías" utilizadas para diseñar, fabricar y probar UAV pueden tener funcionalidad en la industria de aviones comerciales o militares. Un ejemplo son los pilotos automáticos para aeronaves tripuladas. También hay algunas superposiciones en los conocimientos necesarios para desarrollar automóviles autónomos y UAV no militares

Apariencia (como se fabrica): Por lo general, la tecnología de integración de diseño de UAV toma la forma de experiencia en ingeniería entre las personas, y es probable que esta experiencia se refleje en programas de ordenador almacenados en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común, incluida la cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos, puede contener este programa informático y estos datos.

Apariencia (como empaquetado): La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos que contienen tecnología de integración de diseño 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, se puede transmitir a través de una red informática. Otra tecnología de integración de diseño consiste en capacitación y experiencia práctica en centros tecnológicos extranjeros, por ejemplo, en túneles de viento instrumentados o instalaciones de equipo informático en el circuito.

10.E.2. Diseñar "tecnología" para la integración de los datos de control de vuelo, orientación y propulsión en un sistema de gestión de vuelo, diseñado o modificado para los sistemas especificados en 1.A.1. o 19.A.1., para la optimización de la trayectoria del sistema de cohetes.

Naturaleza y propósito: La tecnología necesaria para controlar el vuelo del sistema de cohetes es complicada e involucra una gran cantidad de variables físicas que deben entenderse, medirse y ajustarse. Los diseñadores no solo deben tener un conocimiento profundo de los subsistemas de control de vuelo de misiles y sus interacciones, sino que también deben determinar técnicas para resolver problemas de control que involucran altas velocidades en un amplio rango de altitudes. Parte de este conocimiento puede manifestarse en el modelado por ordenador que se basa en las especificaciones del subsistema, la prueba del túnel de viento y un programa detallado de prueba de vuelo. A medida que los misiles se vuelven más avanzados, los programas de desarrollo de misiles implican costos crecientes y horarios extendidos. Como resultado, muchos países intentan adquirir la tecnología necesaria de fuentes extranjeras para reducir el tiempo y el costo de los programas de desarrollo de misiles.

Método de operación: La asistencia técnica está disponible de muchas formas. La asistencia técnica puede consistir en la instrucción proporcionada por una persona u organizaciones con experiencia en el desarrollo de sistemas de control de vuelo para sistemas de cohetes que actúan como formador en un aula en o cerca del sitio de desarrollo o producción. Un país puede recibir asistencia técnica de una o más entidades extranjeras que poseen las instalaciones de diseño y desarrollo necesarias para proporcionar experiencia práctica para desarrollar la tecnología deseada.

La asistencia técnica también puede venir en forma de asistencia en la adquisición de máquinas, equipos y materiales. Es posible que se realicen transferencias controladas de tecnología como parte de la actividad de licitación y propuesta, después de solicitar una cotización, pero antes de que se firme cualquier contrato o se realice el trabajo.

Usos típicos relacionados con misiles: Con una excepción limitada, la asistencia técnica requerida para desarrollar y construir sistemas de control de vuelo de cohetes 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 misiles balísticos, SLV y en cohetes sonoros es muy similar, aunque los cohetes sonoros no requieren un control de trayectoria preciso para alcanzar una ubicación objetivo precisa.

Otros usos: Esta tecnología se ha limitado a aplicaciones inexistentes además de la ingeniería de cohetes. Existen similitudes generales, y algunos detalles similares, con los conocimientos necesarios para desarrollar pilotos automáticos de aeronaves, automóviles autónomos y vehículos aéreos no tripulados comerciales, aunque las altas velocidades y la amplia gama de altitudes colocan la tecnología de control de vuelo para misiles balísticos en una clase por sí misma.

Apariencia (como se fabrica): Por lo general, la tecnología de integración de diseño de cohetes toma la forma de experiencia en ingeniería entre las personas, y es probable que esta experiencia se refleje en un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común, incluida la cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos, puede contener este programa informático y estos datos.

Apariencia (como empaquetado): La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos que contienen tecnología de integración de diseño 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. Otra tecnología de integración de diseño consiste en la formación y experiencia práctica en centros de tecnología extranjeros, por ejemplo, en túneles de viento instrumentados de alta velocidad o instalaciones de equipo informático en el circuito.

10.E.3. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos o "programas informáticos" especificados en 10.A., 10.B. o 10.D.

Naturaleza y propósito: La tecnología necesaria para desarrollar y producir sistemas de control de vuelo de cohetes y UAV consiste en una amplia gama de conocimientos de ingeniería y científicos. Es necesario que haya un conocimiento detallado y experiencia laboral para los actuadores de control de vuelo (como se usa en el Artículo 10.A.1), la funcionalidad de otros equipos de control de actitud, como las paletas (cubiertas en el Artículo 10.A.2), y para especialistas servoválvulas (Artículo 10.A.3) si se usa control hidráulico. Del mismo modo, debe haber un conocimiento detallado y experiencia para producir y probar componentes y subsistemas de control de vuelo, incluida una comprensión de los equipos de prueba, calibración y alineación (Artículo 10.B.1). En definitiva, toda esta tecnología se deriva de la experimentación respaldada por cálculos y las leyes de la física.

En muchos casos, la traducción de los conocimientos anteriores al programa informático del ordenador puede reducir el tiempo y los gastos necesarios para diseñar y desarrollar controles de vuelo de cohetes o UAV. Dicho programa informático puede incluir representaciones matemáticas de sistemas de control de vuelo, propulsión, orientación y subsistemas relacionados. La tecnología para equipos de prueba, calibración y alineación puede manifestarse de manera similar en parte como un programa informático especializado. Gran parte de los conocimientos necesarios para implementar el control de vuelo se pueden adquirir de países que ya cuentan con esta tecnología, lo que reduce el tiempo y los gastos de un nuevo aprendizaje mediante la prueba sola.

Método de operación: La tecnología general para el control de vuelo incluye muchos temas. La implementación generalmente requiere equipos de ingeniería interdisciplinarios de personas que trabajan juntas de una manera altamente organizada. A menudo es productivo para un programa de ordenador utilizado temprano en un programa de desarrollo que modela el fuselaje y los sistemas de propulsión, guía y control del vehículo. El programa informático simula el comportamiento del vehículo en todos los regímenes de vuelo esperados y predice el rendimiento teórico. El diseñador puede cambiar los parámetros del subsistema, volver a ejecutar la simulación y elegir los parámetros que ofrecen el mejor rendimiento. Más adelante en el programa de desarrollo, se pueden utilizar simulaciones de "equipo informático en el circuito" donde los subsistemas reales están conectados entre sí en un banco de pruebas, y el ordenador simula el entorno de vuelo y cualquier equipo informático que falta en la simulación. Algunos equipos de prueba, como los túneles de viento, pueden usarse para replicar las condiciones de vuelo reales como parte de las simulaciones. Esta técnica encuentra efectos en el mundo real de las interacciones de equipo informático, que pueden ser difíciles de detectar o difíciles de simular. Por ejemplo, el transbordador espacial estadounidense nunca fue probado en vuelo en su configuración final. Aunque numerosos componentes y subsistemas se probaron exhaustivamente, el transbordador voló con una tripulación la primera vez que se lanzó, un evento extremadamente improbable sin esta tecnología.

Usos típicos relacionados con misiles: La tecnología general para el desarrollo y la producción de controles de vuelo de misiles es esencial para todos los misiles, a fin de seguir la trayectoria deseada y alcanzar el objetivo previsto.

Otros usos: Las aeronaves comerciales y militares requieren control de vuelo, cuya tecnología general incluye muchas áreas temáticas superpuestas de experiencia técnica. Del mismo modo, los automóviles autónomos necesitan actuadores de control electromecánicos o hidráulicos para la dirección. Si bien la implementación detallada del control de vuelo de misiles puede ser bastante diferente, la transferencia de tecnología general para estos otros tipos de vehículos aún puede ser aplicable a los programas de misiles.

Apariencia (como se fabrica): En la medida en que la tecnología reside en el programa informático, la tecnología de control de vuelo puede almacenarse en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común, incluida la cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos, puede contener este programa informático y estos datos.

Apariencia (como empaquetado): La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos que contienen tecnología de control de vuelo 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.

Categoría II - Artículo 11

Aviónica

Categoría II - Artículo 11: Aviónica

11.A. Equipos, ensamblajes y componentes

Notas:

1. Equipo especificado en 11.B.1. incluye lo siguiente:
 - a. Equipos de cartografía para el contorno del terreno;
 - b. Equipos de levantamiento cartográfico y de correlación (tanto digitales como analógicos);
 - c. Equipos de radar de navegación por efecto Doppler;
 - d. Equipos pasivos de interferometría;
 - e. Equipos de sensores de imágenes (activos y pasivos).
2. "Equipos" especificados en 11.A. puede exportarse como parte de una aeronave tripulada o satélite o en cantidades apropiadas para piezas de repuesto para aeronaves tripuladas.

11.A.1. Sistemas de radar y de radar láser diseñados o modificados para su uso en las lanzaderas espaciales especificadas en 1.A.

Nota técnica:

Los sistemas de radar láser incorporan técnicas especializadas de transmisión, escaneo, recepción y procesamiento de señales para la utilización de láseres para el rango de eco, radiogoniometría y discriminación de objetivos por ubicación, velocidad radial y características de reflexión corporal.

Naturaleza y propósito: Los radares y los radares láser son sofisticados sistemas de sensores activos que se pueden usar para reconocimiento, búsqueda de objetivos u orientación en vehículos aéreos no tripulados (UAV), especialmente misiles de crucero. Estos sistemas incluyen tecnologías de detección y rango láser (LADAR) y detección y rango de luz (LIDAR). Estos términos a menudo se usan indistintamente y genéricamente se pueden usar para referirse a dispositivos que usan energía láser para establecer un rango o para obtener imágenes de un objeto. Se han utilizado correladores de coincidencia de escenas de radar en vehículos aéreos no tripulados, incluidos misiles de crucero y misiles balísticos. Los altímetros de radar y láser son dispositivos algo menos sofisticados que se utilizan para la navegación y la evitación del terreno en misiles de crucero y disparos de armas en misiles de crucero y balísticos. En los últimos años, se han producido mejoras tecnológicas significativas en transmisores, receptores, antenas y procesamiento electrónico.

Método de operación: Los sistemas de radar, LADAR y LIDAR funcionan de manera similar. Emiten un pulso de energía electromagnética y detectan la energía reflejada desde el terreno o el objetivo a continuación. La distancia se calcula como un producto de la mitad del tiempo transcurrido entre la transmisión y recepción de la señal, y la velocidad de la luz. La dirección del objetivo o terreno está dada por el ángulo entre los dos pulsos. La imagen del terreno u objetivo creado de este modo se puede comparar con las imágenes almacenadas, y el rumbo de los misiles se puede modificar según sea necesario.

- Austria
- Francia
- India
- Italia
- Noruega
- Sudáfrica
- Suecia
- Reino Unido
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Federación de Rusia
- República de Corea
- Taiwán
- Estados Unidos

Producción global



Los altímetros de radar y láser funcionan de manera similar, pero miden solo la distancia desde el misil hasta el suelo. Dichos altímetros hacen mediciones precisas de la distancia sobre el suelo para ayudar a los misiles de vuelo bajo a evitar el terreno y, en comparación con los mapas de elevación, pueden usarse como ayudas de navegación. Los altímetros de radar también se pueden usar en la elevación de altitud de misiles balísticos.

Los sistemas de navegación Doppler funcionan como altímetros de radar, pero comparan las frecuencias, no el tiempo de tránsito, de los haces transmitidos y la energía devuelta. El cambio en la frecuencia (un cambio Doppler) es el resultado del movimiento del misil en relación con el suelo y se puede convertir directamente a la velocidad del misil. Múltiples antenas pueden medir la velocidad de los misiles en cualquier dirección si reciben suficiente energía devuelta. Esta información de velocidad puede ser utilizada para corregir los errores de orientación acumulados.

Usos típicos relacionados con misiles: Estos sistemas se utilizan en los misiles de crucero como sensores para la discriminación de objetivos, el recorrido de referencia y el disparo de ojivas. También se utilizan como ayudas de navegación para mantener el misil en una ruta de vuelo prescrita y en ciertas altitudes de vuelo. Dichos sensores también se pueden usar para guiar terminales o disparar misiles balísticos.

Otros usos: Los sistemas de navegación por radar y Doppler se utilizan en aviones y barcos militares y comerciales para la navegación, la detección del clima y la prevención de colisiones. Los altímetros de radar se usan comúnmente para numerosos propósitos, como determinar la altura sobre el terreno en muchos tipos de aeronaves. Los LIDAR se han utilizado para mediciones atmosféricas, estudios oceanográficos y estudios de emisiones de chimeneas.

Apariencia (como se fabrica): Los sistemas de radar para cohetes y vehículos aéreos no tripulados (buscadores o sensores) normalmente están diseñados como un conjunto único que consta de un subconjunto de antena ubicado en un extremo del sistema y los subconjuntos de potencia, control y procesamiento de soporte ubicados en uno o más (separados pero conectados) viviendas. El subconjunto de antenas es normalmente un elemento circular u oblongo que forma un haz radiante y receptor unido a un amplificador de potencia y guías de onda, normalmente un tubo rectangular que acopla la señal del amplificador al elemento radiante. Las antenas son planas o parabólicas y deben tener un tamaño que se ajuste al diámetro del misil. Las antenas se fijan en sistemas de escaneo electrónico o se protegen en sistemas de escaneo mecánico. Las características de montaje de la antena y la estructura de soporte son lo suficientemente fuertes como para mantener la estabilidad y la precisión en presencia de aceleraciones sustanciales causadas por el lanzamiento, la turbulencia y las maniobras.

La forma y el peso de la estructura de soporte y las carcasas de los equipos auxiliares varían mucho de un sistema a otro, pero pueden tener algunas características propias de las aplicaciones de misiles. Por ejemplo, para ayudar a reducir el área de la sección transversal de los misiles y mejorar el enfriamiento, las cajas de equipos pueden tener uno o más cilindros o superficies cónicas y pueden tener características de montaje para asegurar un buen contacto con la piel del misil o proporcionar flujo de refrigerante en lugar de aletas externas para enfriar el aire.

Los altímetros de radar son generalmente mucho más pequeños que los buscadores de radar u otros sensores con antenas fijas de transmisor y receptor montadas en la superficie. Estas antenas, que deben apuntar hacia el suelo, generalmente son placas planas, rectangulares o circulares con una superficie de montaje que se ajusta al exterior del misil. Los requisitos de procesamiento de potencia y señal son significativamente menores que los de los sistemas de búsqueda de radar. El transmisor y el receptor normalmente están encerrados dentro de una caja conectada a la antena por un cable coaxial. Este subconjunto generalmente tiene un volumen inferior a 0,05 m³ y no requiere enfriamiento externo. Un sistema Doppler típico que consiste en un conjunto receptor/transmisor/antena generalmente ocupa

0,007 m³, pesa menos de 5 kg y requiere aproximadamente 12 vatios de potencia.

Los sistemas LADAR y LIDAR difieren de los sistemas de radar en que usan las longitudes de onda de luz visible e IR mucho más cortas, respectivamente. Se distinguen fácilmente por la apariencia externa de una lente óptica o ventana. Los sistemas que funcionan a longitudes de onda IR más largas tienen un puerto óptico que puede parecer metálico. Al igual que las antenas de radar, la unidad óptica del sistema es fija o móvil, y puede montarse por separado. La construcción es pesada, con monturas resistentes. En general, todos estos sistemas tienen superficies de montaje sin pintar, pero recubiertas con una película anticorrosiva conductiva. La conexión a tierra eléctrica de todos los chasis de aviónica es vital para la supervivencia en entornos electromagnéticos huéspedes.

Apariencia (como empaquetado): Aunque estos sistemas están contruidos para sobrevivir al manejo y almacenamiento de misiles normales, y a entornos de vuelo severos, deben empaquetarse cuidadosamente para garantizar que el contenedor de envío y sus entornos no impongan tensiones inusuales. Debido a que la estructura de la antena y los sistemas de accionamiento son especialmente sensibles, están bien protegidos. Los sistemas se sellan en un recinto hermético y se envían en contenedores acolchados. Se puede utilizar una amplia gama de contenedores externos, incluidos tambores metálicos, carcasas de madera y carcasas de metal compuesto.

11.A.2. Sensores pasivos para determinar los rodamientos a fuentes electromagnéticas específicas (equipos de radiogoniométricos) o características del terreno, diseñados o modificados para su uso en los sistemas especificados en 1.A.

- | | |
|--------------|-----------------------|
| •Australia | • China |
| •Francia | • Alemania |
| •India | • Israel |
| •Italia | • Japón |
| •Noruega | • Federación de Rusia |
| •Sudáfrica | • República de Corea |
| •Suecia | • Taiwán |
| •Reino Unido | • Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: Los sistemas de búsqueda de dirección proporcionan un vehículo con información de rumbo (orientación angular) a fuentes conocidas de radiación electromagnética que emana de transmisores terrestres. Las características del terreno y del objetivo pueden determinarse mediante sistemas de imágenes, típicamente una cámara visible o infrarroja (IR). Estos sistemas son pasivos porque reciben, pero no transmiten energía; por lo tanto, los misiles que los usan son mucho menos propensos a ser detectados. Ambos sistemas se utilizan para la orientación de UAV y como sensores de carga útil, y en algunos casos se han utilizado para la orientación del terminal de misiles balísticos.



Imagen 99: Un sensor de imágenes infrarrojas para un UAV (arriba) y sus componentes electrónicos asociados. (LFK-GmbH)

convertir la escena en un mapa digital. Este ensamblaje opera en las longitudes de onda visibles o IR. Los sistemas de luz visible que utilizan un iluminador de flash de alta intensidad por la noche se convierten en sensores semiactivos. Los sensores recopilan imágenes de escenas terrestres en puntos predeterminados a lo largo de una ruta de vuelo preprogramada. Las imágenes se digitalizan y se comparan con escenas almacenadas de las mismas ubicaciones. Las diferencias entre las dos escenas se convierten en un error de posición utilizado para corregir el rumbo del vehículo. Alternativamente, los sensores de imagen se pueden usar en la guía del hombre en el circuito donde la imagen del área objetivo se transmite a una persona que realmente vuela el vehículo. El operador puede guiar el UAV para impactar o bloquear el misil en el objetivo, después de lo cual el misil se aloja de forma autónoma para impactar.

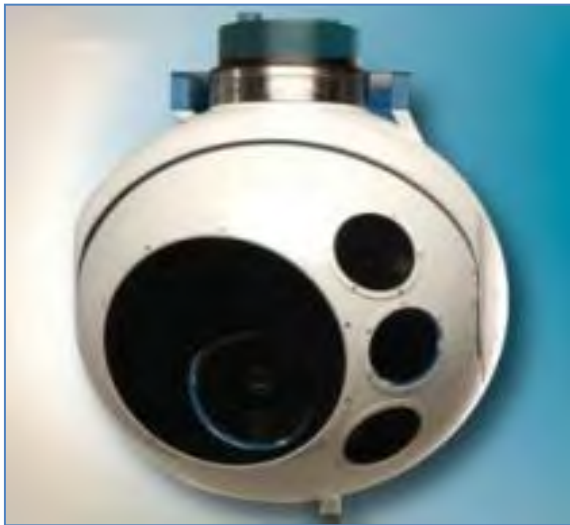


Imagen 100: Un sensor de imagen pasivo es un sistema infrarrojo UAV de alto rendimiento que puede acomodar hasta seis sensores. (Northrop Grumman)

Método de operación: El equipo de búsqueda de dirección utiliza sensores pasivos para recibir radiación electromagnética de los transmisores terrestres en varios puntos conocidos. Por ejemplo, comparar los tiempos de tránsito relativos de las señales de dos o más sitios permite que el ordenador en el misil determine su ubicación y rumbo. El sistema integrado de instrumentos de vuelo utiliza esta información para seguir el plan de vuelo preprogramado. Un buscador antirradiación dirige el misil al objetivo procesando la energía de radar recibida de un solo emisor.

Los sensores de imágenes pueden usar características del terreno para navegar. El conjunto óptico consta de una o más lentes de distancia focal fija o variable, un intensificador de imágenes y una matriz fotosensible para

Usos típicos relacionados con misiles: Los sistemas de guiado inercial actualizados por los sistemas de imágenes se pueden utilizar para guiar misiles de crucero con una precisión extraordinaria o para guiar terminales de misiles balísticos. El equipo de búsqueda de dirección se puede utilizar para guiar los UAV, incluidos los misiles de crucero, y para guiar la terminal de misiles balísticos.

Otros usos: Los sistemas de búsqueda de dirección se utilizan en aviones, barcos y vehículos terrestres. Los sensores de imagen se utilizan en muchos sistemas militares tácticos para la entrega de municiones, particularmente desde aviones. La tecnología de sensores de imágenes (sensores y algoritmos) también se usa ampliamente en robótica y fotografía. Sin embargo, los sistemas de imágenes construidos para misiles de crucero generalmente no tienen aplicaciones comerciales.

Apariencia (como se fabrica): Los buscadores de dirección constan de tres conjuntos: una antena o conjunto de antenas, un receptor y un equipo de procesamiento.

La antena es una antena parabólica orientada hacia el futuro, o un panel plano como una matriz en fase, generalmente montada en un ensamblaje acodado y dimensionada para su instalación en la estructura del vehículo. El receptor es un conjunto pequeño de baja potencia con conectores para salidas de potencia y señal, y uno o más conectores de antena coaxial. El equipo de procesamiento de señal puede ser parte integral de otra electrónica o residente en su propia caja de electrónica. La apariencia de tales componentes electrónicos de procesamiento de señales varía mucho y puede reflejar las preferencias del fabricante en lugar del propósito funcional del equipo. El tamaño del equipo de procesamiento de señal varía de unos pocos centímetros a decenas de centímetros por lado.

Los sensores de imagen consisten en una lente y un sensor visible o IR, o cámara. Se utilizan con un conjunto electrónico que consta de una fuente de alimentación y control y procesamiento electrónico, como se muestra en la Imagen 99. Otra cámara IR se muestra en la Imagen 100. Los sensores de luz visible son reconocibles por la lente óptica o ventana. El puerto óptico de los sensores de luz IR puede parecer metálico. La unidad de flash tiene una gran ventana óptica que cubre un reflector y un tubo de vidrio.

Los sensores de imágenes pueden ser fijos o móviles, y pueden montarse por separado del resto del equipo de mapeo del terreno. Las características de montaje óptico y la estructura de soporte son robustas para mantener la estabilidad y precisión en presencia de grandes aceleraciones durante el lanzamiento, turbulencias y maniobras. La superficie de la unidad cerca de la lente puede tener una forma que se ajuste al contorno del fondo del misil porque la lente debe mirar al suelo durante el vuelo.

Apariencia (como empaquetado): Las antenas y los elementos ópticos pueden tener un embalaje protector especial debido a su sensibilidad a los golpes. Estos elementos están sellados en cajas herméticas a prueba de humedad y se envían en contenedores acolchados. A su vez, estos paquetes se envían en una variedad de contenedores, que incluyen tambores metálicos, carcasas de madera o carcasas especializadas de compuesto o metal.

11.A.3. Equipos receptores para sistemas de navegación global por satélite (GNSS; por ejemplo, GPS, GLONASS o Galileo), que tengan cualquiera de las siguientes características y componentes diseñados especialmente para ellos:

- a. Diseñado o modificado para su uso en sistemas especificados en 1.A.; o
- b. Diseñado o modificado para aplicaciones en el aire y que tenga cualquiera de los siguientes:
 1. Capaces de proveer información para la navegación a velocidades superiores a 600 m/s;
 2. Emplear descifrado, diseñado o modificado para servicios militares o gubernamentales, para obtener acceso a la señal/datos seguros de GNSS; o
 3. Que estén diseñados especialmente para el uso de sistemas antiperturbación (p.ej. antena de nulo direccionable o antena dirigible electrónicamente) para funcionar en un entorno de contramedidas activas o pasivas.

Nota:

11.A.3.b.2. y 11.A.3.b.3. no asuman el control equipos diseñados para servicios GNSS comerciales, civiles o de 'Seguridad de la vida' (por ejemplo, integridad de datos, seguridad de vuelo).

- China
- Alemania
- Japón
- Sudáfrica
- Estados Unidos
- Francia
- Israel
- Federación de Rusia
- Reino Unido

Global
producción



Naturaleza y propósito: Los receptores GNSS son pequeñas unidades electrónicas con conexiones de alimentación y antena que se utilizan para proporcionar información muy precisa sobre la posición y la velocidad del vehículo. Los receptores GNSS son uno de los tres componentes principales de GNSS, los otros son satélites que orbitan la tierra y estaciones de control y monitoreo en tierra. El GLONASS, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y Galileo son ejemplos de GNSS, todos basados en una constelación de satélites activos que transmiten continuamente señales a los receptores en la tierra.

Método de operación: Los receptores GPS detectan señales de radio transmitidas desde satélites GPS que orbitan la tierra en órbitas conocidas con precisión. Estas señales de radio identifican el satélite y contienen una referencia de tiempo precisa.

El receptor determina su posición y velocidad midiendo el retraso de la señal entre cuatro o más satélites simultáneamente y calculando los resultados en función de sus ubicaciones y otra información contenida en la señal. GLONASS y Galileo funcionan de la misma manera que el GPS. También se pueden utilizar receptores combinados GPS/GLONASS/Galileo.

Usos típicos relacionados con misiles: Receptores GNSS de grado militar y comercialmente disponibles diseñados o modificados para los sistemas descritos en 1.A. se utilizan en sistemas integrados de instrumentos de vuelo o sistemas de navegación integrados sofisticados para proporcionar soluciones de posicionamiento, navegación y sincronización (PNT) muy precisas a los UAV, incluidos los misiles de crucero. Los receptores especialmente diseñados también se pueden utilizar en sistemas de cohetes para complementar o actualizar el conjunto de guiado y aumentar la precisión.

Otros usos: Aunque el sistema GPS se diseñó originalmente para fines militares, los receptores GNSS tienen una gama de aplicaciones. Los receptores GNSS se utilizan en aviación comercial y otros sistemas de transporte, servicios de socorro en casos de desastre y emergencia, topografía y mapeo.

Apariencia (como se fabrica): G Los receptores GNSS son pequeños, a menudo de unos pocos centímetros de lado, y bastante ligeros, a menudo pesan menos de 1 kg (Imagen 102). Los receptores GNSS de interés MTCR no siempre se pueden distinguir visualmente de los receptores GNSS no controlados porque los límites de altitud y velocidad se implementan en el firmware dentro de los microcircuitos. La determinación de si un receptor GNSS determinado está controlado por MTCR se realiza mejor según el modelo del receptor, el número de serie y la documentación asociada. Los receptores GNSS también están disponibles como parte de un paquete completo de orientación, como se muestra en la Imagen 101.



Imagen 101: Este sistema de navegación por inercia GPS está diseñado para proporcionar posicionamiento, navegación y sincronización (PNT) fiables y precisos para vehículos críticos de lanzamiento y reentrada. (Northrop Grumman)

Apariencia (como empaquetado): El embalaje es típico para artículos electrónicos pequeños y caros. Estos elementos están sellados en cajas herméticas, a prueba de humedad y se envían en contenedores acolchados. A su vez, estos paquetes se envían en una variedad de contenedores, que incluyen tambores metálicos, carcasas de madera o carcasas especializadas de compuesto o metal.



Imagen 102: *Izquierda:* una unidad receptora/procesadora del Sistema de Posicionamiento Global con su antena de parche. (Sextant Avionique) *Derecha:* Un receptor/procesador del Sistema de Posicionamiento Global. (Sistemas de guiado y control de Litton)

11.A.4. Ensamblajes y componentes electrónicos, diseñados o modificados para su uso en los sistemas especificados en 1.A. o 19.A. y especialmente diseñado para uso militar y operación a temperaturas superiores a 125oC.

Naturaleza y propósito: El espacio limitado en los sistemas de cohetes y los sistemas UAV requiere el diseño y la fabricación de sistemas pequeños pero muy capaces (alta potencia y densidad). Si la electrónica puede diseñarse para soportar altas temperaturas, entonces se puede evitar el peso de los materiales que de otro modo se necesitarían para el enfriamiento. Los ensamblajes y componentes electrónicos utilizados en tales situaciones son el resultado de amplios esfuerzos de diseño y pruebas para garantizar la fiabilidad cuando se utilizan en entornos de alta temperatura. El propósito subyacente de los artículos electrónicos resistentes al calor es garantizar el rendimiento y la fiabilidad del sistema de armas al tiempo que minimiza el peso y el espacio.

El equipo especializado proporciona un rendimiento de navegación mejorado a las células existentes.

El equipo de mapeo de contorno de terreno (TERCOM) combina mediciones de altímetro de radar con datos de mapeo de terreno digitalizados instalados en el sistema de guiado de misiles.

El mapeo y la correlación de escenas utilizan sensores ópticos para recopilar información del terreno que luego se compara con las imágenes digitales almacenadas en el ordenador de vuelo.

El equipo de radar de navegación Doppler utiliza el efecto Doppler para rastrear las características del suelo a velocidades periódicas para determinar la velocidad de la célula, incluida la deriva lateral. A menudo, la información del radar Doppler se usa para actualizar la información de navegación inercial a el ordenador de guiado.

El equipo de interferómetro pasivo utiliza un correlacionador digital de área de coincidencia de escenas (DSMAC) para permitir que un UAV navegue hacia su objetivo al comparar imágenes capturadas por una cámara de vídeo en el vehículo de vuelo con imágenes digitalizadas en escala de grises almacenadas en el ordenador de vuelo. Debido a las limitaciones de memoria en el ordenador de vuelo, solo se almacenan imágenes del objetivo inmediato. Este sistema se activa una vez que el sistema de guiado principal navega el UAV al área objetivo.

El equipo sensor de imagen se puede dividir en dos categorías, activo y pasivo. Los sensores de imagen activos requieren una señal emitida por el sensor para funcionar. Los sensores activos reciben y procesan las señales reflejadas. Los ejemplos de equipos de sensores de imágenes activos incluyen radares de apertura sintética (SAR) o radares láser de imágenes. Los sensores de imagen pasivos reciben señales emitidas o reflejadas por objetos en el entorno. Los ejemplos de sensores de imágenes pasivas incluyen matrices ópticas sensibles a los espectros visible, infrarrojo o ultravioleta. En la mayoría de los casos, los datos de los sensores de imágenes se utilizan para corregir errores de guiado al correlacionar la imagen con imágenes objetivo pre-almacenadas y enviar los errores de posición al programa informático de guiado y control.

Método de operación: Los conjuntos y componentes electrónicos militares generalmente funcionan con baterías y funcionan de manera muy similar a otros dispositivos electrónicos. Sin embargo, se ha diseñado un mayor margen contra fallas y su fiabilidad mejorada ha sido confirmada por pruebas de ciclo de temperatura y pruebas de envejecimiento acelerado.

Usos típicos relacionados con misiles: Los dispositivos electrónicos tolerantes al calor se utilizan en ordenadores de guiado, sistemas de navegación inercial y vehículos de reentrada en misiles balísticos. También son útiles en radares, ordenadores y sistemas de búsqueda en sistemas UAV.

Otros usos: Los ensamblajes y componentes electrónicos tienen usos prácticamente ilimitados en todo tipo de aviones militares y otros sistemas militares. Los mismos tipos de ensamblajes con especificaciones similares a menudo se utilizan en aviones comerciales y embarcaciones marinas.

Apariencia (como se fabrica): Los ensamblajes electrónicos suelen ser pequeños y livianos, y miden unos pocos centímetros de longitud de lado y unos pocos gramos de peso. Los componentes de estos conjuntos se parecen a los utilizados en una amplia variedad de aplicaciones comerciales. Sin embargo, los ensamblajes electrónicos utilizados en aplicaciones militares a menudo están sellados herméticamente en carcasas de metal o cerámica, no en los procesadores de imágenes digitales de plástico transparente (DIP) utilizados para contener ensamblajes comerciales. Las excepciones son los procesadores de alto rendimiento, como el procesador de señal digital cuádruple (DSP) (Imagen 6) en un paquete de módulos de múltiples chips, que incluyen chips de memoria apilados de alta densidad para una velocidad y capacidad de memoria excepcionales. La presencia de tales dispositivos de alto costo sugiere un posible uso militar; sin embargo, algunos conjuntos pueden parecer más convencionales, como el que se muestra en la Imagen 5.

Los conjuntos electrónicos para uso militar a menudo están diseñados para disipar el calor. En algunos conjuntos, los disipadores de calor integrales se complementan con enfriamiento por agua. Las interfaces de cable cuentan con conectores circulares resistentes o pequeños conectores atornillados con cables blindados. Los componentes electrónicos generalmente se montan dentro de un escudo externo de radiofrecuencia (RF) (jaula de Faraday), que puede sellarse herméticamente o ventearse a la presión ambiental. Los recipientes presurizados a veces se utilizan para cohetes y vehículos aéreos no tripulados que deben operar a gran altitud para ayudar a conducir el calor hacia la carcasa y el montaje del disipador de calor. Las carcasas están hechas principalmente de aluminio, con superficies metálicas expuestas pintadas o tratadas con materiales resistentes a la corrosión, como el niquelado.

Apariencia (como empaquetado): Los ensamblajes y componentes electrónicos generalmente se envían en bolsas de plástico marcadas para designar un dispositivo sensible a la electricidad estática, acolchados con espuma de goma o plástico de burbujas para protección contra golpes, y se envían dentro de cajas de cartón o, para cargas de más de 20 kg, cajones de madera.

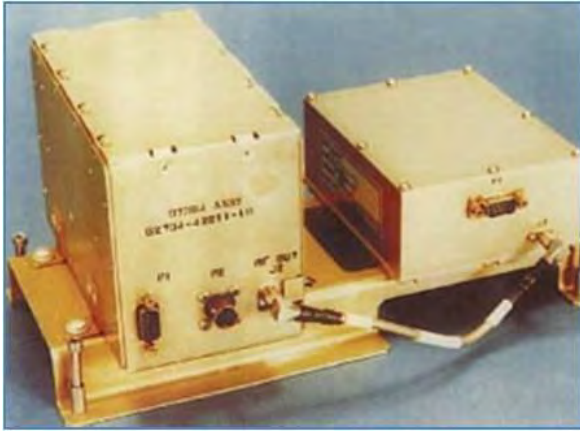


Imagen 103: una caja electrónica UAV. (Corporación AAI)

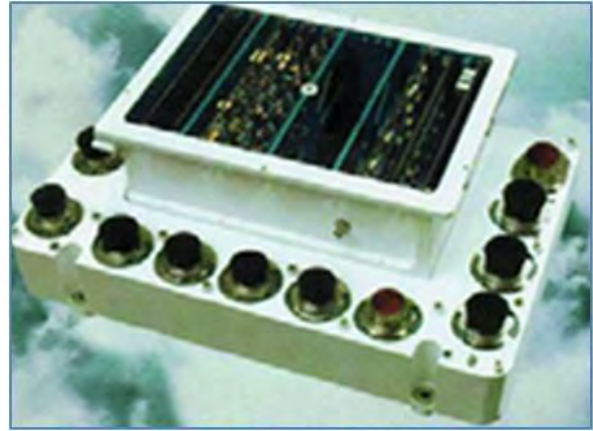


Imagen 104: Procesador de señal digital con la tapa quitada. El tamaño es de 5 cm a 7,5 cm en cada lado. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

11.A.5. Conectores electrónicos umbilicales y interetapas especialmente diseñados para sistemas especificados en 1.A.1. o 19.A.1.

Nota técnica:

Los conectores interetapa mencionados en 11.A.5. también incluyen los conectores eléctricos instalados entre sistemas especificados en 1.A.1. o 19.A.1. y su "carga útil".

- Alemania
- Rusia
- Estados Unidos

Producción
global



Naturaleza y propósito: Los conectores eléctricos umbilicales e interetapas se utilizan para conectar las etapas de misiles, el sistema de guiado y la carga útil juntos y el cohete al lanzador. Los conectores eléctricos umbilicales e interetapas pueden proporcionar información de codificación de lanzamiento, estado de salud y los fluidos de enfriamiento necesarios para el sistema de guiado.

Método de operación: Los umbilicales conectan un cohete al equipo de apoyo en tierra en la plataforma de lanzamiento, el silo o el montador/lanzador. Los umbilicales se mantienen en su

lugar mecánicamente y se liberan justo antes del lanzamiento por medio de un actuador. Este actuador puede ser accionado por resorte o activado por un squib explosivo que separe mecánicamente el umbilical o el conector del sistema de entrega. El movimiento hacia adelante del vehículo libera otros umbilicales durante el lanzamiento y se retira del sobre de lanzamiento para garantizar que el umbilical no golpee el cohete.

Usos típicos relacionados con misiles: Los conectores umbilicales e interetapas proporcionan una ruta para que los cohetes reciban información y como un medio para monitorear e interrogar el sistema.

Otros usos: N/C

Apariencia (como se fabrica): Dependiendo del tipo de conector eléctrico interetapas, tendrá numerosos pines o enchufes y la mayoría de los conectores tendrán un collar de bloqueo. Los umbilicales tendrán una cara plana, normalmente hecha de resina epoxi o plástico duro. La cara del umbilical puede tener clavijas y enchufes, y también puede tener conectores para el enfriamiento líquido del sistema de guiado.

Apariencia (como empaquetado): Las cabezas umbilicales y los conectores eléctricos interetapas estarán envueltos en plástico antichoque, normalmente de color gris o rosa. Debido a los numerosos cables que pueden contener los conectores eléctricos umbilicales o interetapas, se empaquetarán teniendo en cuenta la protección del radio de curvatura. Para evitar daños a estos cables, el cable probablemente se enrolle en un círculo amplio.

11.B. Equipo de prueba y producción

Ninguno.

11.C. Materiales

Ninguno.

11.D. Programas informáticos

11.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de los equipos especificados en 11.A.1.

Naturaleza y propósito: Los sistemas de radar UAV, láser y radar láser IR utilizan programa informático para interpretar y traducir señales reflejadas en información de reconocimiento, orientación al objetivo o guía (utilizando técnicas de coincidencia del terreno). El equipo de búsqueda de dirección utiliza programa informático de navegación para determinar (al recibir dos o más balizas de navegación) la ubicación y el rumbo de un vehículo. Los sistemas de navegación automatizados pueden usar este equipo y planes de vuelo preprogramados para guiar a un vehículo de vuelo a su área objetivo. Los sensores de imágenes pueden usar técnicas de mapeo del terreno para guiarlo o su arma hacia su objetivo. Los sistemas de radar Doppler se usan en UAV para determinar la velocidad y pueden usarse en misiles balísticos si los sistemas Doppler pueden recibir suficiente energía reflejada.

Método de operación: El conjunto de sensores, integradores y ordenadores de aviónica forman una serie de sistemas redundantes que resultan en una navegación de misiles de crucero de alta precisión. Cada uno de estos sensores recopila información específica de señales terrestres activas (balizas de referencia) y fuentes pasivas (reflexiones de radar de objetos conocidos y trazados) y proporciona señales de navegación a un ordenador de vuelo que aumenta las fuentes del sistema de guiado inercial. El programa informático de guiado de misiles se utiliza para interpretar los datos de este sensor y decidir qué correcciones se requieren para la ruta de vuelo de los misiles. Estas funciones de programa informático son parte integral del programa de vuelo a bordo.

Usos típicos relacionados con misiles: Estos dispositivos se utilizan para soportar el sistema UAV y la navegación de misiles balísticos.

Otros usos: El radar, los sistemas láser y el equipo de búsqueda de dirección se utilizan en aeronaves civiles y militares para aumentar los sistemas de navegación inercial.

Apariencia (como se fabrica): Normalmente, el programa informático del sistema de radar, el programa informático utilizado con sensores pasivos y el programa informático de vuelo adecuado para 1.A. Los sistemas toman la forma de programas de ordenador almacenados en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común, como 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.

11.D.2. "Programas informáticos" especialmente diseñados para la "utilización" de los equipos especificados en 11.A.3.

Naturaleza y propósito: El programa informático GNSS procesa las señales satelitales en información de posición que luego se utiliza en los sistemas de guiado de los sistemas de cohetes o UAV. El procesamiento también puede incluir los algoritmos de descifrado que permiten al receptor obtener acceso a información de posicionamiento militar más precisa.

Método de operación: Los receptores GNSS reforzados pueden instalarse en sistemas de cohetes o UAV. El programa informático GNSS resuelve algoritmos que involucran estas señales y deriva información precisa de posición y velocidad. Este programa informático suele ser una parte integral del programa informático de vuelo a bordo.

Usos típicos relacionados con misiles: El receptor GNSS puede usarse para aumentar los datos de posición y velocidad proporcionados por el instrumento inercial, o puede servir como la fuente principal de esta información.

Otros usos: El programa informático GNSS está especializado y está diseñado para operar dentro de receptores GNSS específicos. Los sistemas de grado civil (menos precisos) podrían actualizarse a sistemas que cumplan con los requisitos militares (precisión de posición < 6 metros en cualquier dirección, información de velocidad más precisa) decodificando la información de temporización satelital más precisa disponible de las nuevas señales GPS civiles que se conectan lentamente como parte del Programa de Modernización GPS. Los nuevos satélites comenzaron a transmitir las nuevas señales civiles de GPS en abril de 2014, se espera que el Programa de Modernización del GPS tenga todas las nuevas señales civiles en 24 satélites GPS para fines de la década de 2020.

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. Los receptores GPS de interés de MTCR no siempre se pueden distinguir visualmente de los receptores GPS no controlados porque los algoritmos de altitud y velocidad se implementan en el firmware o el programa informático.

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.

11.E. Tecnología

11.E.1. Diseño de "tecnología" para la protección de subsistemas de aviónica y electricidad contra riesgos de impulso electromagnético (EMP) e interferencia electromagnética (EMI) de fuentes externas, como sigue:

- a. "Tecnología" de diseño para sistemas de blindaje;
- b. "Tecnología" de diseño para la configuración de circuitos y subsistemas eléctricos endurecidos;
- c. "Tecnología" de diseño para la determinación de los criterios de endurecimiento anteriores.

11.E.2. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos especificados en 11.A. u 11.D.

- China
- Japón
- Reino Unido
- Francia
- Federación Rusa
- Estados

Producción global



Naturaleza y propósito: La tecnología EMP y EMI se utiliza para mejorar la supervivencia de los sistemas en entornos que tienen un intenso ruido de RF provocado por el hombre, particularmente el ruido de RF causado por la detonación de armas nucleares. La tecnología utiliza al menos tres enfoques, a menudo simultáneamente: configura circuitos sensibles para minimizar la interferencia; encierra circuitos en cajas conductoras; y protege los cables de entrada/salida (E/S) mediante dispositivos de supresión de sobretensiones, generalmente justo dentro de la caja conductora.

Aunque la tecnología utilizada para proteger los circuitos de EMP y EMI es común y sin complicaciones, determinar los requisitos e implementarlos son problemas difíciles y sofisticados. Las topologías de circuitos, el uso de dispositivos de supresión, los modelos de predicción de efectos de armas y la generación de criterios pueden investigarse mediante programas informáticos interactivos, que reciben parámetros de armas y sistemas y los utilizan para evaluar entornos de amenazas como campos y niveles actuales.

Método de operación: La protección EMP y EMI es generalmente pasiva. Los gabinetes de RF disipan la energía de RF como corrientes eléctricas en la superficie externa conductora. Se debe tener cuidado con las tapas y puertas para asegurar que los campos no pueden filtrarse en un recinto. Las juntas y pantallas metálicas se usan típicamente para sellar tales aberturas.

Los dispositivos de supresión de E/S simplemente acortan los campos eléctricos a tierra o proporcionan una alta impedancia (es decir, oposición eléctrica) mediante filtros y bobinas de RF. Sin embargo, algunos dispositivos de supresión como los diodos Zener, transorbs, espacios de chispa y varistores de óxido de metal cambian su impedancia a ciertos niveles de voltaje o corriente.

Usos típicos relacionados con misiles: La tecnología de diseño EMP y EMI se utiliza en misiles balísticos para proteger el conjunto de guiado y el equipo electrónico en el vehículo de reentrada de los efectos EMP y EMI de las detonaciones nucleares cercanas. También se utiliza para proteger los dispositivos pirotécnicos, como los sistemas de separación por etapas, de la ignición prematura. Esta tecnología se puede usar en sistemas UAV, pero generalmente solo necesitan protegerse contra niveles más bajos de EMP y EMI que se encuentran a una distancia considerable de explosiones nucleares u otras fuentes de interferencia.



Imagen 105: Una selección de dispositivos de supresión de interfaz electromagnética. (Sabritec)

Otros usos: La tecnología de diseño EMP y EMI se utiliza en

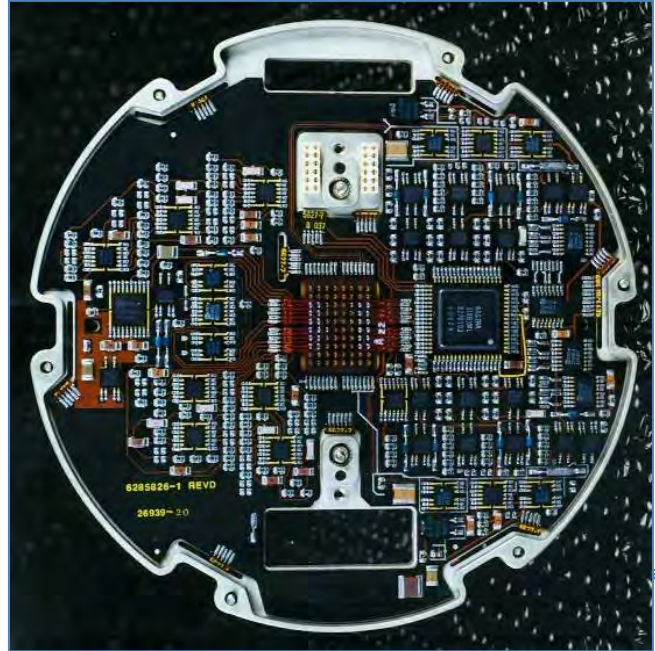
satélites, algunos aviones militares y algunos sistemas de armas. Se utiliza una tecnología EMI similar en el diseño de algunos sistemas electrónicos comerciales, como radios de onda corta y equipos estéreo para reducir o prevenir la interferencia de otros dispositivos eléctricos. Los dispositivos de supresión de sobretensiones para rayos en fuentes de alimentación y cables son otro ejemplo de protección EMP/EMI.

Apariencia (como se fabrica): Dicha tecnología de diseño puede adoptar la forma de asistencia técnica, incluidos servicios de capacitación y consultoría. La tecnología también puede tomar la forma de copias heliográficas, planos, diagramas, modelos, fórmulas, diseños y especificaciones de ingeniería, y manuales e instrucciones escritas o grabadas en otros medios o dispositivos como discos, cintas y memorias de solo lectura.

Parte de la tecnología de diseño es transmitida por el propio equipo. Los conjuntos están protegidos con RF en cajas metálicas, generalmente de aluminio. Para aplicaciones muy livianas, se usan cajas duraderas de plástico compuesto o resistente con un revestimiento de metal para blindaje de RF. El revestimiento suele ser de aluminio, a menudo en la superficie interior de la caja. Las superficies metálicas expuestas a menudo se pintan o tratan con materiales resistentes a la corrosión, como el niquelado. Algunos dispositivos de supresión de EMI se muestran en la Imagen 105. Un módulo electrónico EMI/EMP se muestra en la Imagen 106. La electrónica está protegida por el perímetro de aluminio que sirve como una jaula RF Faraday cuando está sellada herméticamente por los módulos de acoplamiento y la cubierta. La superficie de aluminio debajo de la placa de circuito sirve como una partición de RF de los módulos internos. El patrón de perno para la cubierta está espaciado cada pocos centímetros para evitar espacios en el cierre y mantener una presión uniforme en una junta de RF que puede ser de metal blando, junta rellena de metal, resorte metálico o malla de alambre.

La electrónica EMI/EMP puede adoptar casi cualquier forma para adaptarse a las limitaciones de espacio.

Apariencia (como empaquetado): La tecnología en formas tales como informes, datos y programas generadores de criterios se puede empaquetar en sobres comerciales de gran tamaño o en paquetes ordinarios de distribución masiva de medios electrónicos informáticos. Los conjuntos electrónicos EMP/EMI se envían típicamente con espuma de goma o protección contra golpes con envoltura de burbujas en cartón o, si pesan más de 20 kg, en cajas de madera. Ocasionalmente se envían en bolsas de plástico marcadas con dispositivos electrostáticos (ESD) aunque no sean sensibles a ESD.



Categoría II - Artículo 12

Apoyo al lanzamiento

Categoría II - Artículo 12: Apoyo al lanzamiento

12.A. Equipos, ensamblajes y componentes

12.A.1. Aparatos y dispositivos para el manejo, control, activación o lanzamiento de los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. O 19.A.2.



Imagen 107: Se levanta un revestimiento de silo para su instalación en un silo de misiles en un complejo de lanzamiento en construcción. (The Boeing Company)

Naturaleza y propósito: Aparatos y dispositivos incluyen instalaciones de plataforma de lanzamiento, pórticos, blocaos, silos de lanzamiento subterráneos, equipos de manipulación, equipos de prueba y verificación de sistemas, equipos de abastecimiento de combustible, equipos de alineación y equipos de comando y control. Algunos de estos equipos son relativamente simples, como las plataformas de lanzamiento de hormigón. Otros artículos, como las sofisticadas plataformas de lanzamiento y las instalaciones de lanzamiento tipo pórtico utilizadas para los vehículos modernos de lanzamiento espacial (SLV), son mucho más complejos. El factor determinante para la inclusión en 12.A.1. es si el artículo está diseñado o modificado para los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2.

Método de operación: El tipo de equipo utilizado durante el lanzamiento de misiles balísticos depende de la naturaleza por la cual el misil se entrega al sitio de lanzamiento. En la mayoría de los enfoques, el misil es entregado al sitio por un camión, un tren o, en una plataforma de lanzamiento, una plataforma rodante. Luego, el misil se coloca mediante erectores especiales construidos para el sitio y el misil, o mediante una grúa unida a un pórtico permanente. En los silos, los misiles se colocan mediante una grúa en el transportador, que baja el misil al silo; alternativamente, las etapas de misiles se bajan con una grúa o un cabrestante al silo y se ensamblan dentro del silo (Imagen 107).

Los sistemas completos de guiado de cohetes a menudo están alineados y calibrados por brújulas y/o equipos de topografía. Esta operación de alineación puede realizarse inicialmente y luego actualizarse regularmente antes del lanzamiento. Muchos sistemas de guiado son capaces de autoalinearse al detectar la rotación de la tierra. Antes del lanzamiento, los datos de destino y el perfil de vuelo se cargan en el sistema de guiado. El rendimiento del subsistema se verifica mediante equipos de prueba eléctricos y de programa informático conectados al misil mediante cables. Los misiles mantenidos en alerta se verifican continuamente. Cuando el estado de todas las respuestas se verifica como satisfactorio, el vehículo está listo para el lanzamiento y la secuencia de lanzamiento se ejecuta bajo el comando.

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV), particularmente los misiles de crucero, generalmente están diseñados para múltiples plataformas de lanzamiento (con interfaces estandarizadas).



Imagen 109: Una plataforma de lanzamiento con un transbordador espacial en una plataforma de inicio móvil antes del lanzamiento. (JAXA)



Imagen 108: Plataforma de lanzamiento mínima con un pórtico y conexiones a un sistema completo de cohetes. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

Usos típicos relacionados con misiles: Se requiere equipo de apoyo al lanzamiento para preparar y lanzar misiles. Algunos de estos dispositivos (sistemas de guiado y equipos de comando y control) continúan monitoreando y controlando el misil en todo o en partes del perfil de vuelo.

- Australia
- Brasil
- Francia
- India
- Israel
- Japón
- Corea del Norte
- Federación Rusa
- República de Corea
- Taiwán
- Estados Unidos
- Argentina
- China
- Alemania
- Irán
- Italia
- Países Bajos
- Pakistán
- Suecia
- Reino Unido

Producción global



Otros usos: Los sistemas hidráulicos, la electrónica de control, los ordenadores, los tanques y tuberías, y los equipos de comunicaciones necesarios para el lanzamiento de misiles son similares, si no idénticos, a los necesarios para muchos otros fines. El transporte, el manejo, el equipo de montaje y los algoritmos de puntería y prueba a menudo son exclusivos de cada misil, sin otros usos. El equipo de apoyo al lanzamiento basado en silos es a menudo único, diseñado específicamente para el lanzamiento de misiles balísticos y no tiene usos comerciales.

Apariencia (como se fabrica): Las instalaciones de la plataforma de lanzamiento para vehículos modernos de lanzamiento espacial (SLV) son extremadamente grandes y complejas, y consisten en edificios de ensamblaje de vehículos separados, vehículos de orugas grandes (plataformas móviles de lanzamiento) para transportar vehículos espaciales desde los puntos de ensamblaje hasta la plataforma de lanzamiento y las torres de servicio fijo (Imagen 108).

Las plataformas de lanzamiento de sistemas más pequeños pueden tener una plataforma de concreto, un soporte relativamente pequeño sobre el cual se coloca el misil y un pórtico hecho de vigas de acero. Las plataformas de lanzamiento destinadas a operaciones militares generalmente carecen de instalaciones de almacenamiento, bombeo o manipulación de propulsores. Estas operaciones se realizan desde tanques y camiones de bombeo. También carecen de comando de lanzamiento permanente, control y equipo de verificación del sistema. De nuevo, estas operaciones son conducidas por equipos en camiones.

Apariencia (como empaquetado): El gran tamaño de las plataformas de lanzamiento, los pórticos y los silos dicta que dicho aparato generalmente se construye en el sitio y rara vez se envía ensamblado. De acuerdo con su tamaño y peso, los componentes electrónicos y las consolas están envueltos y sellados en un acolchado para protegerlos de golpes y humedad durante el transporte y el almacenamiento, y luego se empaquetan por separado en cajas o cajones. El equipo electrónico utilizado en algunos refugios de control de lanzamiento de tamaño pequeño a mediano a menudo se instala en el refugio, y todo el refugio está montado en una paleta para el transporte. Algunos equipos electrónicos de apoyo al lanzamiento son portátiles y se han reducido al tamaño de una maleta.

12.A.2. Vehículos diseñados o modificados para el transporte, manejo, control, activación o lanzamiento de los sistemas especificados en 1.A.

- Australia
- China
- Francia
- India
- Irak
- Italia
- Libia
- Pakistán
- República de Corea
- Siria
- Reino Unido
- Estados Unidos
- Bielorrusia
- Brasil
- Egipto
- Alemania
- Irán
- Israel
- Japón
- Corea del Norte
- Federación de Rusia
- España
- Ucrania

Producción global



Naturaleza y propósito: Cohetes y vehículos aéreos no tripulados cubiertos en el artículo 1.A. han sido lanzados desde camiones, trenes, aviones, barcos y submarinos. Con la excepción de vehículos aéreos no tripulados más grandes y más potentes capaces de despegue autónomo, la mayoría de los lanzamientos de cohetes y misiles (incluidos los lanzamientos desde sitios fijos) requieren vehículos, especialmente para el transporte y la manipulación.

Los vehículos modificados para transportar, erigir y lanzar misiles son distintivos porque generalmente no tienen otro uso práctico. Algunos de estos vehículos, conocidos como transportador-erector-lanzador (TEL), proporcionan una plataforma de lanzamiento móvil independiente de las instalaciones de lanzamiento permanentes. Alternativamente, los misiles pueden ser transportados y lanzados desde lanzadores de erección (móviles) (MEL o EL), que a menudo son remolcados por camiones conocidos como motores principales. Los vehículos modificados para llevar equipos de comando y control necesarios para activar, apuntar y controlar cohetes o UAV también son distintivos. El artículo 12.A.2. controla el vehículo,

incluidos los equipos a bordo, algunos de los cuales estarían controlados en virtud del Artículo 12.A.1. Si se retira del vehículo.

Método de operación: Los TEL y otros lanzadores móviles realizan las mismas funciones de preparación y lanzamiento que las instalaciones de apoyo al lanzamiento cubiertas en el Artículo 12.A.1. Un TEL generalmente se carga con su cohete o UAV mediante una grúa (que puede ser parte del TEL) en un área de preparación. El TEL transporta el cohete o UAV al sitio de lanzamiento, donde lo erige en la posición de lanzamiento. Algunos misiles son alimentados en este punto por camiones cisterna y camiones de bombeo separados; otros pueden ser transportados ya alimentados. El equipo de lanzamiento realiza conexiones eléctricas con el vehículo y garantiza que todos los subsistemas estén listos para el lanzamiento. Se carga la información de la orientación o del plan de vuelo, y el sistema de guiado se alinea y calibra antes del lanzamiento.



Imagen 111: Arriba: Ocho ejes MEL que llevan misiles balísticos intercontinentales (ICBM; primer plano) y cuatro ejes TEL que llevan misiles balísticos de rango intermedio (IRBM). (A través de Internet chino)



Imagen 112: Parte superior derecha: Un portador de misiles de crucero lanzado en superficie. (A través de Internet chino)



Imagen 110: Derecha: Un vehículo de control en tierra (vehículo, izquierda) es capaz de manejar una variedad de sistemas UAV. (Corporación AAI)

Usos típicos relacionados con misiles: Los sistemas completos de cohetes y los UAV requieren vehículos diseñados o modificados para el sistema, como los TEL y/o los vehículos asociados de comando y control y soporte.

Otros usos: Estos vehículos, sus sistemas hidráulicos, dispositivos electrónicos de control y ordenadores y equipos de comunicaciones, generalmente se derivan de una amplia variedad de equipos comerciales y militares.

Apariencia (como se fabrica): La característica distintiva de los TEL diseñados para misiles balísticos es la presencia de un mecanismo de erección capaz de elevar el misil a una posición vertical. El vehículo puede ser rastreado, pero la mayoría son vehículos grandes del tamaño de un camión con remolque o camión, con 3 a 8 ejes y neumáticos de goma. Ejemplos de estos tipos de vehículos se muestran en la Imagen 110.

Los TEL o MEL diseñados para UAV se caracterizan por su relativa simplicidad y la presencia de una estructura de lanzamiento (como un riel), que a veces está inclinada para el lanzamiento. La estructura de lanzamiento puede variar mucho en tamaño y peso, dependiendo de los UAV que se lanzarán. Las estructuras de lanzamiento pueden ser tan pequeñas como 2 a 3 m para lanzadores de UAV con asistencia hidráulica o con cohetes. Se pueden montar estructuras de lanzamiento similares en un vehículo con orugas o ruedas (Imagen 111). En la Imagen 112 se muestra un ejemplo de un camión de comando y control que podría acompañar a los TEL y MEL.

Apariencia (como empaquetado): Los rieles de lanzamiento y los mecanismos de montaje utilizados en los TEL o MEL generalmente están integrados en el vehículo o en el chasis del remolque. Como resultado, estos dispositivos se colocan en su posición normal de almacenamiento en el vehículo móvil o remolque cuando se empaquetan para su envío desde la instalación de producción. Los vehículos son conducidos, remolcados o enviados por ferrocarril a las instalaciones del usuario. Otros vehículos se empaquetarán de manera similar a otros vehículos militares o comerciales.



Imagen 113: Izquierda: un lanzador erector separado de su motor principal. Anexo de Equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR Handbook, Third Edition (May 2005)). Arriba a la derecha: un lanzador de transportador para un gran misil de crucero Categoría II. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005)) Abajo a la derecha: Lanzador erector para un UAV asistido por cohete y su van asociada de comando y control. (Teledyne Ryan Aeronáutica)



Imagen 114: Un lanzador neumático de UAV. Derecha: Vehículos de comando y control adecuados para lanzar misiles desde ubicaciones fijas o móviles. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

12.A.3. Medidores de gravedad (gravímetros) o gradiómetros de gravedad, diseñados o modificados para uso marino o aeronáutico, utilizables para sistemas especificados en 1.A., como sigue, y componentes diseñados especialmente para ellos:

a. Medidores de gravedad que tengan todo lo siguiente:

1. Una exactitud estática u operativa igual o inferior a (mejor que) 0,7 mgal; y
2. Un tiempo hasta el estado estable igual o inferior a dos minutos

b. Gradiómetros de gravedad

- Medidores de gravedad relativa
 - Canadá
 - China
 - Alemania
 - Federación Rusa
 - Estados Unidos
- Gradiómetros de gravedad
 - Estados Unidos

Producción global



Naturaleza y propósito: Como la tierra no es una esfera perfecta, su intensidad de campo gravitacional fluctúa a través de su superficie. Los cambios en la topografía, la elevación, la latitud y la densidad subterránea pueden afectar la fuerza de la gravedad. Los medidores de gravedad y los gradiómetros de gravedad realizan mediciones muy precisas de la magnitud de la fuerza de gravedad en varios lugares. Estos datos se utilizan para crear mapas detallados del campo gravitacional de la Tierra durante varios kilómetros alrededor de un sitio de lanzamiento de misiles balísticos porque las variaciones locales en la gravedad pueden causar imprecisiones en la guía de inercia a menos que se tengan en cuenta en el programa informático de guiado de misiles. Los aviones, helicópteros, barcos y submarinos equipados con medidores de gravedad pueden hacer mapas de gravedad en el mar. Los aviones y helicópteros equipados con medidores de gravedad pueden hacer mapas de gravedad sobre terreno montañoso. Los gradiómetros de gravedad también se pueden usar como sensores en los sistemas de guiado para mejorar la precisión.

Método de operación: Los métodos de operación varían con los diferentes tipos de equipos. Algunos miden con precisión el tiempo de caída de una masa caída; otros usan un conjunto de acelerómetros pendulares de reequilibrio de fuerza electromagnética que giran en un carrusel. Algunos se operan con el avión, el barco o el submarino en movimiento, y otros se bajan a la superficie de la tierra o el fondo del mar para realizar una medición. Los sistemas diseñados para operar en una plataforma móvil como un barco o avión necesitan giroscopios y acelerómetros de calidad de navegación inercial para la estabilización de dos ejes de la plataforma del sensor. Los sistemas diseñados para descender a la superficie de la tierra o del fondo marino solo necesitan ser autonivelantes.

Los gradiómetros de gravedad utilizan un conjunto de acelerómetros de muy alta calidad en un plato giratorio de precisión. A medida que los acelerómetros giran en un plano horizontal, detectan las sutiles diferencias de gravedad sobre el perímetro de la plataforma giratoria. La diferencia entre las lecturas promedio tomadas en los lados este y oeste del plato giratorio, dividido por el diámetro del plato giratorio, produce el gradiente de gravedad longitudinal.

Del mismo modo, la diferencia entre las lecturas promedio tomadas en los lados norte y sur del plato giratorio, dividido por el diámetro del plato giratorio, produce el gradiente de gravedad latitudinal. El uso de acelerómetros múltiples reduce el efecto de la deriva del factor de escala del acelerómetro individual, y la rotación de los acelerómetros alrededor del perímetro prácticamente elimina el efecto de la deriva de sesgo.



Imagen 115: Este medidor de gravedad automatizado es uno de los medidores de gravedad más precisos, resistentes y livianos. En condiciones normales, puede nivelarse para lecturas de mGal en 30 segundos y tiene una velocidad de deriva de menos de 0,5 mGals por mes. (Corporación ZLS)

Usos típicos relacionados con misiles: Los mapas de gravedad de varios a cientos de kilómetros en el área de los sitios de lanzamiento de misiles balísticos son necesarios para sistemas de alta precisión. Los medidores de gravedad aerotransportados se pueden usar para mapear un área grande de terreno accidentado o mar abierto adyacente a caminos de montaña u otras áreas donde podrían operar misiles móviles. Los medidores de gravedad de barcos o submarinos se utilizan para mapear la atracción gravitacional bajo el mar para facilitar una mayor precisión de los misiles balísticos lanzados desde submarinos o desde instalaciones terrestres cerca de la costa. Debido a que los efectos de las variaciones de gravedad en el área de lanzamiento son bastante pequeños, los mapas de gravedad son principalmente útiles para sistemas de misiles balísticos que ya son muy precisos. Los gradiómetros de gravedad pueden ser útiles para la guía de UAV, tal vez sobre el agua u otro terreno sin características.

Otros usos: Los medidores de gravedad y los gradiómetros de gravedad se utilizan en la exploración de recursos petroleros y minerales, civiles ingeniería, mapeo geofísico, exploración geotécnica y arqueológica, estudios de aguas subterráneas y ambientales, investigación tectónica, investigación en vulcanología e investigación geotérmica. Los gradiómetros de gravedad se utilizan como ayudas de navegación en submarinos.

Apariencia (como se fabrica): Los medidores de gravedad y los gradiómetros de gravedad son instrumentos electrónicos y mecánicos sensibles de alta calidad. La apariencia del medidor de gravedad varía ampliamente porque las compañías los construyen de manera diferente para diferentes propósitos. Los sistemas totalmente integrados en una sola caja pueden ser tan pequeños como 25 cm x 32 cm x 32 cm y pesar tan poco como 6 kg (con batería) (Imagen 115). Los sistemas con carcasas separadas pueden ser tan grandes como un metro cúbico y pesar La unidad de sensor de los medidores de gravedad aire-mar, 350 kg; esta diseñada específicamente para aplicaciones marinas y aerotransportadas (Imagen 116), es difícil de especificar ya que depende de las características de la embarcación, las condiciones en el mar y la precisión de navegación (generalmente alrededor de 1 mGal). Sistemas como estos están controlados por MTCR si cumplen con los criterios de rendimiento especificados en el Artículo 12.A.3.

Los componentes electrónicos y mecánicos están encerrados en carcasas de plástico duro o de metal. Algunos sistemas tienen el instrumento y el panel de control contenidos en el mismo caso; otros sistemas tienen los instrumentos separados de los paneles de control. Los casos suelen tener visibles paneles de control electrónicos o mecánicos, plataformas, perillas de control giratorias, interruptores de palanca y pulsadores, y conexiones para cables electrónicos y de ordenador externos.



Imagen 116: un medidor dinámico. El sistema de control digital completo del medidor mejora la precisión general del sistema al eliminar la ganancia y las desviaciones de compensación inherentes a la electrónica analógica. (Corporación ZLS)

Algunos tienen pantallas para observar los datos recopilados en forma digital o analógica; algunos tienen puertos para imprimir copias impresas de los datos. La mayoría tiene paneles de acceso extraíbles. Se pueden suministrar baterías para operar el sistema. Algunos sistemas tienen ordenadores y programas informáticos incorporados. Algunos medidores de gravedad están contruidos para ser bajados por un cable al suelo y operados desde un helicóptero. Otros están contruidos para ser bajados al fondo del mar por un barco o submarino.

Apariencia (como empaquetado): Debido a que los sistemas son muy sensibles y caros, se empaquetan y envían en contenedores rígidos, que incluyen plástico formado, palomitas de plástico, plástico de burbujas u otros materiales diseñados para protegerlos de los golpes. Los contenedores de envío suelen tener etiquetas de advertencia como "frágil", "manipular con cuidado" o "instrumentos sensibles".

12.A.4. Equipos de telemetría y telecontrol, incluidos los equipos de tierra, diseñados o modificados para sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2.

Notas:

1. 12.A.4. no somete a control equipos diseñados o modificados para aeronaves tripuladas o satélites.
2. 12.A.4. no somete a control equipos basados en tierra diseñados o modificados para aplicaciones terrestres o marinas.
3. 12.A.4. no somete a control equipos diseñados para servicios GNSS comerciales, civiles o de 'Seguridad de la vida' (por ejemplo, integridad de datos, seguridad de vuelo).

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

Global
Producción
comercial



Naturaleza y propósito: El equipo de telemetría involucra sensores, transmisores y receptores que envían información en vuelo sobre el desempeño de un cohete o UAV al suelo. Estos dispositivos permiten a los ingenieros controlar el vuelo y el rendimiento de un vehículo, y determinar las causas de cualquier falla. Dicho equipo se usa ampliamente durante las pruebas de vuelo de cohetes y UAV. Durante las pruebas de vuelo, la telemetría normalmente se recopila durante todo el vuelo. El equipo de telecontrol que usa varios sensores, receptores y transmisores se puede usar para controlar de forma remota cohetes o UAV durante el vuelo con motor. Sin embargo, muchos misiles balísticos operacionales y misiles de crucero vuelan de forma autónoma (es decir, sin ningún telecontrol).

Método de operación: Los equipos de telemetría instalados en cohetes de desarrollo y UAV monitorean los parámetros de vuelo importantes (aceleración, vibración, configuración de la superficie de control, presiones, temperaturas, caudales, posiciones de válvulas, potencia/voltaje, etc.) y transmiten estos datos a una o más estaciones terrestres. El receptor decodifica los datos, los muestra y los graba para reproducirlos y analizarlos más tarde.

La mayoría de las operaciones se configuran dentro de un edificio con una conexión de antena externa. Si se hace uso del cardán, esta antena puede girar en tres ejes para seguir el sistema de cohetes o UAV en vuelo. Es posible que se requieran muchos bancos terrestres, ya sean fijas o móviles, a lo largo de la ruta de vuelo.

Los sistemas de telecontrol típicos son diferentes para los sistemas de cohetes y UAV. Los cohetes que usan la guía de comando generalmente son rastreados por radar cerca del sitio de lanzamiento. Los datos de la ruta de vuelo se procesan para comparar la trayectoria real y la deseada. Si se producen desviaciones, los comandos de dirección se envían desde estación terrestre por radio a un receptor en el sistema de cohetes, que implementa los comandos para llevarlo por buen camino. Este bucle de comando se mantiene hasta que los motores se apagan. El resto del vuelo es balístico a menos que el misil utilice superficies de control aerodinámicas. Telecontrol para sistemas UAV a menudo se implementa mediante un concepto de "hombre en el circuito". Un sensor (como un televisor) en el UAV transmite una imagen visual a la estación de control en tierra. Un piloto humano ve esta imagen y envía comandos de dirección al vehículo a través del enlace de datos.



Imagen 117: Algunos transmisores de telemetría están diseñados para soportar entornos operativos de hostiles que requieren un paquete compacto y resistente. (AMP)



Imagen 118: Un gran sistema de antena de telemetría diseñado para UAV y centros de pruebas de vuelo. (Chelton Antennas)

Usos típicos relacionados con misiles: La telemetría es importante en la verificación del rendimiento durante las pruebas de vuelo tanto para cohetes como para UAV. Sin esos datos, las pruebas de vuelo pueden ser largas y costosas y requieren muchas más pruebas de vuelo. Telecontrol se utiliza con frecuencia para aplicaciones UAV. El Telecontrol rara vez se usa en misiles balísticos o de crucero operacionales que portan armas porque el enlace de datos es vulnerable a interferencias o interrupciones.

Otros usos: Se utiliza un equipo de telemetría similar para probar aviones comerciales y militares. También se utiliza en la industria para recopilar datos de sitios remotos y de plantas químicas u otras plantas con un entorno peligroso. También se utiliza en vehículos terrestres robóticos que deben operar en entornos peligrosos.

Apariencia (como se fabrica): El equipo de telemetría instalado en los vehículos de vuelo está contenido en pequeñas cajas de metal con alimentación, cable y conexiones de antena, y tienen pocas características distintivas (Imagen 117). El equipo de telemetría más visible en la estación terrestre es la antena receptora de telemetría. A menudo son platos parabólicos grandes que pueden rotar en dos dimensiones, como se muestra en la Imagen 118 (a veces tan grande como un plato de 60 pies montado en una torre de acero de 38 pies de altura). El equipo electrónico utilizado en la estación terrestre para demodular, leer, grabar, interpretar y mostrar la telemetría se parece a la mayoría de los equipos científicos u ordenadores montados en bastidores pocas características distintivas.



Imagen 119: Una gran antena militar SATCOM diseñada para puestos de comando principales y puestos de comando móviles, y adecuada para comunicaciones con UAV. (General Dynamics)

El equipo de telecontrol instalado en los UAV permite la comunicación entre el UAV y la estación de control en tierra. Al igual que el equipo de telemetría, este equipo está alojado en cajas metálicas con conexiones de alimentación, cableado y antena, todas ellas de aspecto poco notable. Algunos UAV se comunican con sus estaciones de control en tierra a través de satélites y requieren antenas SATCOM especiales en tierra (Imagen 119).

Apariencia (como empaquetado): Debido a la sensibilidad de la electrónica, los equipos de telemetría generalmente se envían en cartón acolchado o contenedores de madera. Algunos pueden tener etiquetas que indican la necesidad de un manejo cuidadoso. Por lo general, el equipo está sellado en plástico para proteger la electrónica de la humedad y las descargas electrostáticas. Grandes conjuntos de equipos, como estaciones de telecontrol integradas, se desmontarán y enviarán en contenedores separados.

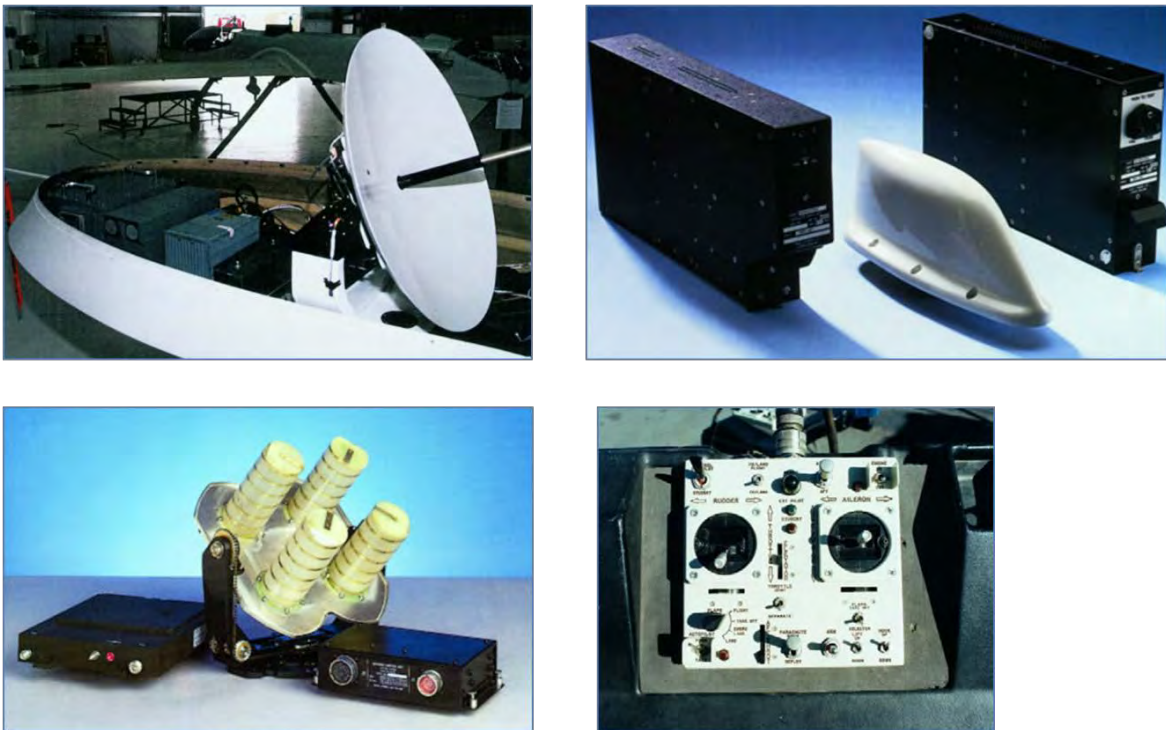


Imagen 120: Arriba a la izquierda: Una antena SATCOM instalada en un UAV (General Atomics Aeronautical). Parte superior derecha: Un transceptor de satélite comercial con antena aerodinámica. (Racal Avionics). Abajo a la derecha: Una consola de controlador de vuelo portátil para un UAV (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005)). Abajo a la izquierda: Un sistema comercial con una antena dirigida mecánicamente (no se muestra la racionalización. (Racal Avionics)



Imagen 121: Equipo representativo de recepción y procesamiento de telemetría de estación terrestre. (In-Snec)

12.A.5. Sistemas de seguimiento de precisión, utilizables para sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2. como sigue: como siguen:

- a. a. Sistemas de seguimiento que utilicen un traductor de código conjuntamente con referencias terrestres o aerotransportadas, o sistemas de navegación por satélite con el fin de facilitar mediciones en tiempo real de la posición y velocidad en vuelo;
- b. b. Radars de medición de distancia, incluidos los equipos asociados de seguimiento ópticos/infrarrojos, con todas las capacidades siguientes:
1. Resolución angular mejor que 1,5 milirradiantes;
 2. Alcance de 30 km o superior con una resolución de alcance mejor que 10 m rms; y
 3. Resolución de velocidad mejor que 3 m/s.

- | | |
|--------------|------------------|
| •China | •Francia |
| •Alemania | •Israel |
| •India | •Japón |
| •Pakistán | •Federación Rusa |
| •Sudáfrica | •Suiza |
| •Reino Unido | •Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: Los sistemas de seguimiento de precisión producen registros precisos de la trayectoria del sistema de cohetes o la ruta de vuelo del sistema UAV. Los ingenieros usan estos datos para ayudar a determinar el rendimiento del vehículo y las causas de cualquier falla del vehículo. Los ingenieros de seguridad de alcance también usan estos datos para monitorear la ruta de vuelo de los misiles. Si el misil se desvía hacia una trayectoria insegura, se destruye. Los sistemas de seguimiento de precisión se pueden usar junto con, o como una alternativa, al equipo de telemetría, que envía datos sobre el historial de aceleración del vehículo, desde los cuales se puede reconstruir la trayectoria de los misiles.

Método de operación: Traductores de códigos instalados en un cohete o señales de proceso de UAV recibidos de transmisores terrestres o satelitales. Esas señales llevan datos de tiempo que permiten al traductor de código determinar la distancia a cada transmisor. Estos datos se envían de vuelta a la estación terrestre en una frecuencia de enlace descendente diferente. Debido a que los transmisores están en ubicaciones conocidas, la estación terrestre puede determinar con precisión la posición y velocidad del misil. Estos datos se pueden mostrar en tiempo real o grabar.

Los radares de instrumentación de alcance también se utilizan para determinar la posición y la velocidad del misil. Por lo general, se usa un radar con un amplio campo de visión para rastrear la ubicación aproximada del vehículo, que luego se usa para apuntar radares con un campo de visión estrecho, rastreadores ópticos o rastreadores infrarrojos capaces de determinar el ángulo, alcance de misiles, y velocidad con la precisión requerida. Estos datos se registran a medida que ocurren, junto con un registro continuo del tiempo. Una variación de este enfoque es instalar en el vehículo de vuelo un pequeño transmisor que transmite o un transpondedor que recibe y retransmite a la frecuencia de operación del radar y, por lo tanto, proporciona una baliza que permite que el radar rastree el vehículo más fácilmente.

No importa cómo se recopilen los datos, para ser útil, la información sobre el tiempo y la posición debe ser interpretada. El procesamiento de datos posterior al vuelo puede llevarse a cabo en cualquier lugar, pero a menudo se realiza en el centro de procesamiento de datos de telemetría, donde se reciben y registran datos en tiempo real. Estos datos grabados se leen, filtran y procesan. Los datos de seguimiento procesados se vuelven a grabar en el disco o la cinta para su posterior análisis o trazado de salida.

Usos típicos relacionados con misiles: Los sistemas de seguimiento de precisión y los radares de instrumentación de alcance son útiles durante la fase de prueba del programa de vuelo para determinar si el misil viaja a lo largo de la trayectoria prevista y para monitorear el vuelo del misil en busca de anomalías. Dicha información se utiliza para evaluar y mejorar el rendimiento de numerosos subsistemas. El programa informático que procesa los datos registrados después del vuelo y, por lo tanto, ayuda a determinar la posición del vehículo a lo largo de la ruta de vuelo de los misiles es esencial para la interpretación de esos datos de vuelo.



Imagen 124: Un radar móvil de rastreo de misiles de matriz en fase. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))



Imagen 123: Un sistema móvil de seguimiento de misiles láser. (Contraves)



Imagen 122: Un sistema de seguimiento láser electro-óptico. (BAE Systems)

Otros usos: Estos sistemas se pueden utilizar para apoyar las pruebas de aviones comerciales y militares y el desarrollo de armas, incluida la artillería y los cohetes pequeños. La industria utiliza el procesamiento posterior de datos para evaluar los eventos posteriores al hecho, como el rendimiento de los autos de carrera.

Apariencia (como se fabrica): Los sistemas de seguimiento de precisión y los radares de instrumentación de rango se ven como porciones terrestres de equipos de telemedición y telecontrol. Incluyen radares familiares de tipo plato, como se muestra en la Imagen 118 y la Imagen 119, así como radares de matriz en fase, que se caracterizan por su superficie plana (en lugar de cóncava) (Imagen 124). También se utilizan dispositivos ópticos que parecen telescopios, grandes binoculares robóticos y sistemas de seguimiento láser que se parecen a los instrumentos ópticos (Imagen 122 e Imagen 123).

El equipo informático del sistema de seguimiento de precisión (transpondedores) que se transporta a bordo de cohetes o UAV son generalmente gabinetes electrónicos muy pequeños que varían de 800 cm³ a 2,500 cm³. En general, son recintos sólidos, sellados ambientalmente con alimentación externa y conectores de antena. El único subelemento de estos transpondedores es el elemento de antena, que normalmente se encuentra en la superficie externa del cohete o UAV.

Apariencia (como empaquetado): Debido a su sensibilidad a los golpes, el equipo electrónico generalmente se envía en contenedores acolchados. Algunos pueden tener etiquetas que indican la necesidad de un manejo cuidadoso. Este equipo generalmente está sellado en plástico para protegerlo de la humedad y la descarga electrostática. Los radares más grandes, los rastreadores ópticos y los rastreadores láser se envían desarmados en cajones de madera y se ensamblan en el sitio y todas las ópticas están protegidas con cubiertas ambientales.

12.A.6. Baterías térmicas diseñadas o modificadas para los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2.

Nota:

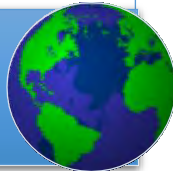
El artículo 12.A.6. no somete a control las baterías térmicas especialmente diseñadas para sistemas de cohetes o vehículos aéreos no tripulados que no son capaces de un "alcance" igual o superior a 300 km.

Nota técnica:

Las baterías térmicas son baterías desechables que contienen una sal inorgánica sólida no conductora como electrolito. Dichas baterías incorporan un material pirolítico que, al encenderse, funde el electrolito y activa la batería.

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

Producción global



Naturaleza y propósito: La función correcta de la batería es un componente crucial para cumplir con los requisitos de la misión de los sistemas de entrega completos. Las baterías térmicas, que son fuentes de energía electroquímicas autónomas, herméticamente selladas, tienen una serie de características que las hacen especialmente resistentes a entornos operativos hostiles y, como tales, son muy adecuadas para satisfacer las demandas de muchos requisitos militares. Estas características incluyen: una capacidad para permanecer inactivo con una larga vida útil de más de 20 años, sin degradación en el rendimiento y al mismo tiempo conservando la capacidad de activar y descargar su energía instantáneamente; rendimiento a temperaturas extremas (de -65 °F a +221 °F); alta densidad de corriente para aplicaciones de alta potencia; alta fiabilidad; y bajos costos de mantenimiento y almacenamiento.



Imagen 125: Una batería térmica. (ASB Group)

Método de operación: Las baterías térmicas están compuestas por una serie de celdas (conocidas como la pila de celdas), cada una de las cuales tiene un ánodo, electrolito, cátodo y masa de calentamiento. El electrolito permanece sólido hasta la activación y las células permanecen completamente inertes durante el almacenamiento de la batería. Esta propiedad de almacenamiento inactivado tiene el doble beneficio de evitar el deterioro de los materiales activos durante el almacenamiento, al tiempo que elimina la pérdida de capacidad debido a la autodescarga hasta que la batería se pone en uso.

Hay dos tipos de diseño de batería térmica que proporcionan mecanismos variables para la activación de la batería. Uno usa una tira de fusibles a lo largo del borde de los granulos de calor para iniciar el calentamiento del electrolito. La tira de fusibles generalmente es disparada por un encendedor eléctrico aplicando una corriente eléctrica a través de ella.

El segundo diseño utiliza un orificio central en el centro de la pila de baterías en el que el encendedor eléctrico de alta energía dispara una mezcla de gases calientes y partículas incandescentes. El último diseño permite tiempos de activación mucho más rápidos (decenas de milisegundos frente a cientos de milisegundos para el diseño de franja de borde). La activación de la batería también se puede lograr con un cebador de percusión, similar al utilizado en la munición de armas pequeñas.

Usos típicos relacionados con misiles: Las baterías térmicas se utilizan en aplicaciones que requieren la entrega inmediata de alta potencia, como proporcionar energía a los sistemas de activación eléctrica en sistemas y misiles de vehículos de lanzamiento espacial, sistemas de guiado de accionamiento electrónico en misiles o sistemas de defensa aérea y telemetría. Son la principal fuente de energía eléctrica para una variedad de misiles y armas nucleares. Los crecientes requisitos de electricidad en estos sistemas debido al aumento de la funcionalidad electrónica en misiles avanzados y modernos aumentarán la demanda de baterías térmicas en este tipo de aplicaciones.



Imagen 126: Una selección de baterías térmicas diseñadas para una amplia gama de aplicaciones militares. (HBL Power Systems)

Otros usos: Las baterías térmicas tienen utilidad en una variedad de otras aplicaciones, tanto militares como civiles. Proporcionan energía eléctrica para minas y artillería guiada y también se utilizan como fuentes de energía para fines industriales (como plataformas de perforación y sistemas de vigilancia). También se pueden aplicar al mercado de vehículos eléctricos. La principal barrera para el uso generalizado de baterías térmicas fuera de aplicaciones militares específicas es que son económicamente inviables. Casi todas las baterías térmicas son de un solo uso y las baterías térmicas recargables son altamente ineficientes (debido a la alta pérdida de energía debido al aislamiento térmico y al largo tiempo de arranque requerido para alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento).

Apariencia (como se fabrica): Las baterías térmicas se fabrican en carcasas de acero herméticamente selladas a presión atmosférica que contienen aire seco o relleno de gas inerte. Son de tamaño relativamente pequeño, que van desde alrededor de 3,5 cm a 17,5 cm de ancho y de 6 cm a 22 cm de altura. El peso varía de alrededor de 200 ga 1,2 kg (Imagen 126).

Apariencia (como empaquetado): Las baterías térmicas se envían en cajones de metal o plástico o en cajas de cartón acolchadas.

12.B. Equipo de prueba y producción

Ninguno.

12.C. Materiales

Ninguno.

12.D. Programas informáticos

12.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de los equipos especificados en 12.A.1.

- | | |
|----------------------|---------------|
| • Argentina | • Bielorrusia |
| • Brasil | • Canadá |
| • China | • Francia |
| • Alemania | • Irán |
| • Israel | • Italia |
| • Corea del Norte | • Pakistán |
| • Federación Rusa | • Sudáfrica |
| • República de Corea | • Suecia |
| • Ucrania | • Reino Unido |
| • Estados Unidos | |

Producción global



Naturaleza y propósito: El programa informático de asistencia y verificación de misiles en tierra se usa para monitorear la condición de preparación del cohete o UAV antes del lanzamiento. Este programa informático está instalado en uno o más equipos de apoyo en tierra y puede adaptarse para monitorear un solo subsistema de misiles, como el sistema de guiado. A menudo, este programa informático contiene los códigos seguros que impiden que personas no autorizadas lancen el misil sin las credenciales adecuadas, así como el código que inicia el lanzamiento y monitorea la cuenta regresiva de la terminal hasta el encendido de la primera etapa.

Método de operación: El programa informático de asistencia y pago en tierra se carga en el cohete o en el equipo de asistencia en tierra UAV. Este programa informático administra equipo informático de tierra que está conectado eléctricamente al cohete o UAV a través de varias conexiones umbilicales para recopilar señales de

estado de misiles. Al recibir una orden de lanzamiento, el programa informático puede contener códigos que autentican la orden de lanzamiento y, si es apropiado, inician y monitorean la secuencia de lanzamiento del cohete/UAV. Si está diseñado correctamente, el programa informático proporciona al operador el estado de cuenta regresiva de lanzamiento que es útil si el sistema funciona mal y el lanzamiento falla antes de la primera etapa de encendido. El análisis técnico de las indicaciones del sistema permitirá una pronta recuperación y un posterior intento de relanzamiento.

Usos típicos relacionados con misiles: Este programa informático se utiliza para monitorear sistemas de misiles antes del lanzamiento. Se pueden usar otras versiones para iniciar y monitorear el lanzamiento hasta el encendido de la primera etapa.

Otros usos: N/C.

Apariencia (como se fabrica): Por lo general, la asistencia de misiles en tierra y el programa informático de pago toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común, como 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.

12.D.2. "Programas informáticos" que procesan datos registrados después del vuelo, lo que permite determinar la posición del vehículo a lo largo de su trayectoria de vuelo, especialmente diseñados o modificados para los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2.

- Bielorrusia
- Francia
- Israel
- Pakistán
- Federación Rusa
- Estados Unidos
- China
- India
- Italia
- Suecia
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: El procesamiento de datos posterior al vuelo puede llevarse a cabo en cualquier lugar, pero a menudo se realiza en el centro de procesamiento de datos de telemetría, donde se reciben y registran datos en tiempo real. Estos datos grabados se leen, filtran y procesan. Los datos de seguimiento procesados se vuelven a grabar en el disco, la cinta u otros medios para su posterior análisis o trazado de salida.

El programa informático de procesamiento de datos grabados y posteriores al vuelo generalmente consiste en rutinas de programa informático de filtrado matemático que procesan los datos grabados previamente para proporcionar una estimación suave

de la trayectoria del vehículo. Este programa informático de procesamiento se utiliza tanto para proporcionar los datos estimados de la posición del vehículo por períodos de tiempo en que puede haber una interrupción de datos en tiempo real como para realizar el filtrado con el fin de obtener la mejor estimación de la trayectoria. Se utilizan muchos tipos diferentes de implementaciones de filtros matemáticos, que varían desde los más simples, como una interpolación en línea recta entre puntos de datos, hasta filtros basados en polinomios más sofisticados, como el filtro de ajuste de chaveta. Algunas rutinas de filtrado también usan el filtrado de Kalman para procesar posteriormente estos datos, aunque el filtrado de Kalman se usa normalmente para aplicaciones de seguimiento en tiempo real debido a su capacidad de utilizar manipulaciones matriciales simplificadas para llegar a soluciones de seguimiento.

Método de operación: Las instalaciones de rango de prueba de vuelo transmiten datos de vuelo y datos de seguimiento de rango a una instalación de procesamiento central. La instalación de procesamiento contiene ordenadores de alta velocidad que convierten estos datos y, en algunos casos, combinan datos de sensores de tierra individuales e instrumentos de vuelo telemétricos desde el cohete o UAV para sintetizar información de rendimiento.

Usos típicos relacionados con misiles: Los datos de la prueba de vuelo se utilizan para respaldar el rendimiento del sistema de cohetes y la evaluación de precisión. También se utiliza para evaluar el rendimiento del vuelo del UAV.

Otros usos: El equipo utilizado para soportar las evaluaciones de pruebas de vuelo de cohetes y UAV también se utiliza para evaluar el rendimiento de aeronaves civiles y militares.

Apariencia (como se fabrica): Típicamente, el programa informático que procesa la información grabada después del vuelo del misil que se utiliza para determinar la trayectoria del vuelo de prueba toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos, magnéticos, ópticos u otros. Cualquier medio común, como 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.

12.D.3. "Programas informáticos" especialmente diseñado o modificado para la "utilización" de los equipos especificados en 12.A.4. o 12.A.5., utilizables para los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2.

- Australia
- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Pakistán
- Suecia
- Ucrania
- Estados Unidos
- Bielorrusia
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Federación de Rusia
- Suiza
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: El programa informático descrito en esta sección se utiliza para recopilar datos de vuelo que se transmiten a estaciones terrestres (telemidas) para su análisis.

Método de operación: Este programa informático se utiliza para recopilar información sobre el sistema y el rendimiento durante el vuelo (generalmente desde el ordenador de vuelo) y para comprimir y modular los datos en un flujo de datos que luego se transmite a receptores terrestres. Otro programa informático en estas estaciones terrestres toma el flujo de datos recibido, descomprime los datos y los convierte en información de rendimiento. Luego, los ingenieros de sistemas analizan la información para evaluar el rendimiento del sistema.

Usos típicos relacionados con misiles: Este programa informático está diseñado exclusivamente para recopilar,

procesar y mostrar información de rendimiento de vuelo de cohetes o UAV que los ingenieros analizan para determinar el rendimiento del sistema. Es fundamental para la evaluación de pruebas de vuelo de cohetes o UAV.

Otros usos: N/C.

Apariencia (como se fabrica): Típicamente, el programa informático que recopila y procesa telemetría de misiles toma la forma de un programa de ordenador almacenado en medios impresos magnéticos, ópticos u otros. Cualquier

medio común, que incluyen cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, unidades flash USB y documentos, pueden contener este programa informático y datos.

Apariencia (como empaquetado): Cinta magnética, disquetes, discos duros extraíbles, discos compactos, flash USB

12.E. Tecnología

12.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 12.A. u 12.D.

Las unidades 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.

Naturaleza y propósito: La tecnología de apoyo al lanzamiento es el conocimiento o los datos necesarios para desarrollar y operar el equipo de apoyo al lanzamiento y su programa informático asociado. El propósito de la tecnología de apoyo al lanzamiento es establecer o mejorar el desarrollo, la producción y el uso del apoyo al lanzamiento y el equipo de pago, y controlar (iniciar o negar) y monitorear los lanzamientos de cohetes o UAV. La tecnología, en esta sección, incluye el conocimiento para operar y desarrollar equipos de apoyo al lanzamiento y su programa informático asociado, así como la capacidad de comprender los datos de telemetría producidos.

Método de operación: La tecnología de apoyo al lanzamiento está disponible en muchas formas. Puede consistir en instrucción proporcionada por una persona u organización con experiencia en el desarrollo de sistemas de control de tierra y verificación o telemetría para cohetes o vehículos aéreos no tripulados que actúa como formador en un aula en o cerca del sitio de desarrollo o producción. Un país puede recibir asistencia técnica en el diseño y desarrollo de equipos de asistencia de tierra o telemetría a través de capacitación proporcionada por o en otro país. Todos los manuales y materiales recibidos durante la capacitación pueden calificar como datos técnicos. Un país también puede recibir asistencia para la adquisición de los equipos técnicos, máquinas o materiales necesarios, ya sea mediante la provisión de los artículos o en forma de orientación sobre qué equipo debe adquirirse.

Usos típicos relacionados con misiles: Esta tecnología se utiliza principalmente para desarrollar, producir y utilizar programas informáticos de apoyo y verificación de misiles en tierra, lanzar programas informáticos de control y monitoreo, lanzar equipos de asistencia que usan este programa informático y para recopilar, transmitir, recibir y procesar información de rendimiento de misiles utilizando equipos de telemetría y programa informático de apoyo.

Otros usos: N/C.

Apariencia (como se fabrica): N/C.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

Categoría II - Artículo 13

Ordenadores

Categoría II - Artículo 13: Ordenadores

13.A. Equipos, ensamblajes y componentes

13.A.1. Ordenadores analógicos, "ordenadores digitales" o analizadores diferenciales digitales, diseñados o modificados para su uso en los sistemas especificados en 1.A., que tengan cualquiera de las siguientes características:

- a. Clasificado para operación continua a temperaturas de menos de -45°C a más, más $+55^{\circ}\text{C}$; o
- b. Diseñados como robustos o "resistentes a la radiación".

Nota:

El equipo del artículo 13 puede exportarse como parte de una aeronave tripulada o satélite o en cantidades apropiadas para piezas de repuesto para aeronaves tripuladas.

- Canadá
- Francia
- India
- Italia
- Corea del Norte
- Sudáfrica
- Suecia
- Ucrania
- Estados Unidos
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Federación de Rusia
- República de Corea
- Taiwán
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: Los sistemas completos de cohetes y UAV controlados en 1.A. usan al menos un ordenador, principalmente en el conjunto de guiado, el sistema integrado de instrumentos de vuelo o el sistema integrado de navegación. el ordenador de guiado calcula la velocidad de misiles y la información de posición de los sensores a bordo, utilizando los datos recopilados para compararlos con la trayectoria y trayectoria de vuelo de misiles definidas, y enviando comandos de dirección para corregir cualquier error detectado. Los ordenadores también pueden proporcionar referencias de tiempo para el misil y dar comandos de corte al sistema de propulsión y comandos de armado a la carga útil de las armas en los tiempos de vuelo apropiados. Los ordenadores de la misión también se pueden usar para almacenar y ejecutar perfiles de vuelo preprogramados.

Método de operación: Los ordenadores analógicos o digitales a bordo integran rápidamente las ecuaciones de movimiento para el vuelo de misiles y calculan la magnitud y la duración de los comandos necesarios para mantener la ruta de vuelo de los misiles. Los ordenadores reciben señales eléctricas de los sensores a bordo, realizan los cálculos apropiados y envían señales de comando a los diversos sistemas de misiles para tratar de igualar la ruta de vuelo preprogramada. Estos sistemas informáticos generalmente funcionan con baterías (generalmente 28 V) y utilizan cables de conexión para interactuar con los sensores y los sistemas de control.

Usos típicos relacionados con misiles: La mayoría de los sistemas completos de cohetes y UAV (incluidos los misiles de crucero) tienen al menos un ordenador digital resistente para los cálculos de navegación y control y la integración digital de los datos de la unidad de medición inercial (IMU). Muchos también usan ordenadores analógicos para proporcionar control de circuito cerrado de servos analógicos para gimbals IMU y para estabilización de superficie de control de vuelo.

El ordenador debe poder operar a las temperaturas extremas experimentadas por los misiles balísticos que viajan a través del espacio, UAV de alta resistencia de larga duración (HALE) o misiles de crucero transportados en pilones externos a gran altitud. Los misiles requieren ordenadores resistentes para manejar las vibraciones y los impactos del vuelo de los misiles, y los misiles diseñados para sobrevivir y operar en entornos nucleares requieren ordenadores endurecidas por radiación.

Otros usos: Los ordenadores reforzados tienen varias aplicaciones militares y comerciales. La mayoría de las aeronaves militares y civiles, misiles tácticos y naves espaciales requieren ordenadores resistentes que operen dentro de los extremos de temperatura definidos en el Anexo MTCR. Las naves espaciales de larga duración y los satélites estacionados en o cerca de los cinturones de radiación también tienen requisitos para la resistencia a la radiación, pero esos requisitos pueden ser algo menores que la especificación del Anexo.



Imagen 127: Un ordenador de misión para múltiples plataformas. Su tamaño compacto lo hace ideal para el espacio confinado en algunos UAV. (Controles informáticos integrados Curtiss Wright)



Imagen 128: Otro ordenador de misión para múltiples plataformas, esta está diseñado para su uso en aplicaciones aeroespaciales y militares severas. (Controles informáticos integrados Curtiss Wright)



Imagen 129: Un conjunto electrónico resistente a la radiación con refrigeración líquida. (The Charles Stark Draper Laboratory, Inc.)

Apariencia (como se fabrica): Las computadoras configuradas para misiles y UAV generalmente se alojan en recintos metálicos con disipadores de calor integrales para disipar el calor generado por las altas velocidades de operación. También son de tamaño compacto y están diseñados para adaptarse a entornos con limitaciones de espacio. En la Imagen 127 y en la Imagen 128 se ven dos ejemplos de computadoras robustas de misiones múltiples diseñadas para aplicaciones aeroespaciales y militares. Dentro de dichos conjuntos hay una gran variedad de piezas electrónicas que pueden parecer similares a las ampliamente utilizadas en aplicaciones comerciales.

Una característica distintiva (aunque no exclusiva del uso militar) son los componentes de metal y cerámica sellados herméticamente en lugar de los componentes plásticos más comunes que se encuentran en la electrónica comercial (Imagen 129). Las interfaces de cable cuentan con conectores circulares resistentes o pequeños conectores atornillados con cables blindados. Los componentes electrónicos están típicamente dentro de un recinto externo de jaula de Faraday de radiofrecuencia (RF), que puede estar herméticamente sellado o ventilado a la presión ambiental. Los recipientes a presión se utilizan para ayudar a conducir el calor a la carcasa y al montaje del disipador de calor de misiles y UAV, que operan a gran altitud. Para aplicaciones que requieren ensamblajes livianos, los ordenadores se pueden empaquetar en contenedores de plástico resistentes con revestimientos metálicos dentro de las cubiertas de plástico para blindaje de RF.

Apariencia (como empaquetado): Los conjuntos y piezas de ordenadores electrónicos generalmente pesan menos de 25 kg. Se empaquetan en bolsas de plástico, se colocan dentro de cajas de cartón y se embalan en espuma de goma o protección contra golpes de plástico de burbujas. Las etiquetas de las cajas suelen indicar el contenido como dispositivos sensibles a la electrostática. Las unidades más grandes integradas en un sistema más grande y de más de 25 kg pueden empaquetarse en cajas de metal o madera.

13.B. Equipo de prueba y producción

Ninguno.

13.C. Materiales

Ninguno.

13.D. Equipos informáticos

Ninguno.

13.E. Tecnología

13.E.1. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "uso" de los equipos especificados en 13.A.

Naturaleza y propósito: La tecnología descrita en esta sección es la necesaria para desarrollar, producir y usar ordenadores resistentes en los sistemas de cohetes y en los sistemas UAV, incluidos los misiles de crucero.

Método de operación: La asistencia técnica está disponible de muchas formas. La asistencia técnica puede consistir en formación en una clase en o cerca del sitio de desarrollo o producción y brindada por una persona u organización con experiencia en el desarrollo de ordenadores resistentes para sistemas de cohetes o UAV. Un país puede recibir esta asistencia técnica de una o más entidades extranjeras que posean las instalaciones necesarias para proporcionar experiencia práctica para diseñar y desarrollar la tecnología deseada. La asistencia también puede incluir orientación sobre qué partes o componentes adquirir o ayudar a adquirirlos.

Usos típicos relacionados con misiles: La tecnología incluida en esta sección se utiliza para proporcionar ordenadores digitales o analógicos diseñados para operar dentro de un sistema de cohete o UAV para completar la navegación y controlar los cálculos y la integración digital de los datos de la IMU. Los sistemas de cohetes y los UAV también usan ordenadores analógicos para proporcionar control de bucle cerrado de servos analógicos para gimbals IMU y para la estabilización de la superficie de control de vuelo.

Apariencia (como se fabrica): N/C.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

Categoría II - Artículo 14
Convertidores analógico-
digital

Categoría II - Artículo 14: Convertidores analógico-digital

14.A. Equipos, ensamblajes y componentes

14.A.1. Convertidores analógico-digital, utilizables en los sistemas especificados en 1.A., que tengan cualquiera de las siguientes características:

- a. Diseñados para las especificaciones militares destinadas a equipos robustos; o
- b. Diseñados o modificados para uso militar y que sea cualquiera de los siguientes tipos:
 1. "Microcircuitos" de convertidor analógico-digital, "resistentes a la radiación" o tienen todas las características siguientes:
 - a. Clasificados para funcionar en el rango de temperatura de menos de -54°C a más $+125^{\circ}\text{C}$; y
 - b. Sellados herméticamente; o
 2. Placas de circuitos impresos de convertidor analógico-digital de tipo de entrada eléctrica, que tienen todas las características siguientes:
 - a. Clasificado para funcionar en el rango de temperatura de menos de -45°C a más
 - b. Con incorporación de "microcircuitos" especificados en 14.A.1.b.1.

- | | |
|-------------------|------------|
| • Francia | • Alemania |
| • Israel | • Japón |
| • Federación Rusa | • Suecia |
| • Reino Unido | • Estados |



Naturaleza y propósito: Los convertidores de analógico a digital (ADC) son dispositivos electrónicos para convertir una señal analógica, que es un voltaje que varía continuamente, en una señal digital, que consiste en voltajes discretos que representan un patrón de "1s" y "0s" (datos binarios). Estos convertidores permiten que las salidas analógicas de varios dispositivos, como sensores, acelerómetros y giroscopios, sean procesados por dispositivos digitales, como procesadores de señales digitales (DSP) y ordenadores.

Método de operación: En su forma más simple, un ADC es un voltímetro con una "palabra" binaria como salida. Cuanto más larga sea la palabra (es decir, más "bits" por

palabra), con mayor precisión se puede representar el voltaje de entrada. Por ejemplo, una palabra de 8 bits que representa un rango de voltaje de cero a un voltio proporciona 256 valores discretos. Con una palabra asignada a cero, esto resulta en 255 incrementos de poco más de 3,92 mV cada uno. Los incrementos de 3,92 mV limitan la precisión teórica a más o menos 1,96 mV o 0,196 %. Otra característica importante de los ADC es la tasa de conversión, que es una medida de qué tan rápido el dispositivo puede actualizar la palabra de salida para reflejar cambios rápidos en el voltaje de entrada. Una tasa de conversión más rápida permite que el ADC procese señales de entrada con mayor contenido de frecuencia. Los fabricantes usan uno de varios enfoques de diseño de circuito diferentes (es decir, conversión directa, integración, codificación delta, sigma-delta y otros) para realizar la conversión.

La mayoría de los ADC están diseñados para tener una relación lineal de entrada a salida. Sin embargo, en esquemas más elaborados, los voltajes de entrada se asignan a valores digitales de acuerdo con los datos de calibración tomados previamente del instrumento analógico con el que se acopla el ADC. Este mapeo permite que el ADC compense las no linealidades en la medición analógica.

Usos típicos relacionados con misiles: Cualquier misil que use un ordenador digital requiere ADC. Los ADC necesitan trabajar sobre el rango de temperatura especificado anteriormente y estar sellados herméticamente si, como la mayoría de los misiles balísticos, se vuelan exo-atmosféricamente.

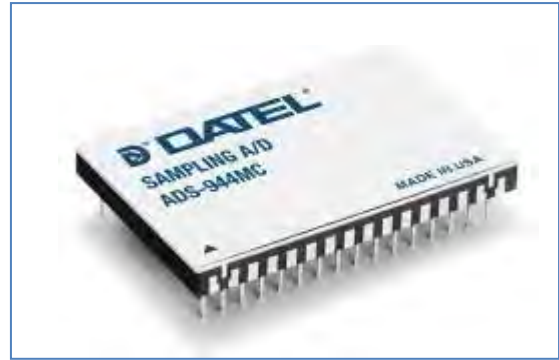


Imagen 130: Un convertidor analógico a digital utilizado principalmente en el análisis de señales de radar. (Datel)

Otros usos: Los ADC son de uso generalizado, con piezas resistentes que son comunes en todas las aeronaves, sistemas de encendido electrónico de automóviles y sensores de motores. Otras aplicaciones comerciales incluyen una variedad de sistemas de sensores, cámaras electrónicas, sistemas de imágenes médicas y radios. Las naves espaciales y los satélites estacionados en o cerca de los cinturones de radiación requieren ADC endurecidos por radiación, que operan sobre las temperaturas extremas indicadas. Aunque algunos requisitos de aplicación espacial (dosis total de aproximadamente 100 krad (Si)) son aproximadamente cinco veces más bajos que la especificación del Anexo, tales sistemas a menudo usan ADC controlados por MTCR.

Apariencia (como se fabrica): Los componentes militares de ADC son paquetes de metal sellados herméticamente para garantizar el funcionamiento en entornos adversos y para disipar el calor asociado con el procesamiento de datos a altas velocidades de datos de los sensores. El aluminio es el metal principal utilizado para los marcos, estructuras y disipadores de calor de placas ADC. Los ensamblajes pueden variar desde unos pocos centímetros hasta aproximadamente 0,3 m o más por lado y pesar desde 100 g hasta 25 kg. La densidad de su paquete se aproxima a un tercio de la densidad del aluminio.

Los conjuntos ADC integrados constan de una amplia variedad de piezas electrónicas que no se distinguen fácilmente de las utilizadas en aplicaciones comerciales. Pueden estar poblados con componentes discretos y parecerse a otros componentes electrónicos militares (Imagen 131). Los ADC discretos de grado militar y comercial difieren externamente solo en número de parte. Los ADC resistentes a la radiación a menudo se empaquetan en una sola placa de circuito integrado (IC) impreso ideal para usar en misiles balísticos. Estos dispositivos tienen características de diseño especiales para hacerlos resistentes y resistentes a los entornos de golpes y vibraciones. Aunque las placas de circuito ADC son similares a las de los DSP, incluyen circuitos adicionales para amplificadores de búfer, multiplexación o acondicionamiento de señal (filtros, limitación de voltaje, etc.).

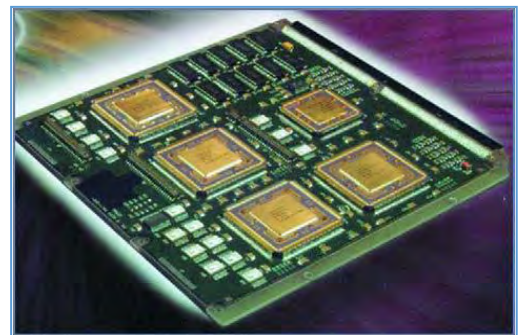


Imagen 131: Placa típica de convertidor analógico a digital/procesador de señal digital. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

Como resultado, una porción más grande de la placa de circuito ADC está compuesta de componentes discretos (resistencias, condensadores, diodos, etc.). Las placas de circuito impreso son de fibra de vidrio epoxi con disipadores de calor de cobre y trazas. Las piezas electrónicas están en carcasas metálicas especiales (principalmente cobre-níquel) con alambres de unión de aluminio u oro y sustratos de silicio.

Apariencia (como empaquetado): Los conjuntos y módulos de placa de circuito impreso ADC pesan menos de 25 kg. Están encerrados en bolsas de plástico marcadas para indicar dispositivos sensibles a la electrostática y están empacados en espuma de goma o plástico de burbujas para protección contra golpes dentro de carcasas de cartón.

14.B. Equipo de prueba y producción

Ninguno.

14.C. Materiales

Ninguno.

14.D. Equipos informáticos

Ninguno.

14.E. Tecnología

14.E.1. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos especificados en 14.A.

Naturaleza y propósito: La "tecnología" descrita en el Artículo 14 es el conocimiento y la experiencia necesarios para desarrollar, producir y usar convertidores analógicos a digitales (ADC) robustos en sistemas de cohetes y vehículos aéreos no tripulados, incluidos los misiles de crucero. Las copias heliográficas, esquemas y dibujos de ingeniería se consideran parte de los datos técnicos de esta tecnología.

Método de operación: Los ADC siempre están integrados en conjuntos de tarjetas de circuito para aplicaciones de misiles. La asistencia técnica requerida para lograr esto puede consistir en habilidades tales como diseño de placa de circuito, diseño de placa de circuito, fabricación, diseño y prueba de estos conjuntos. Un país puede recibir esta asistencia técnica de una o más entidades extranjeras que poseen las instalaciones de diseño y desarrollo necesarias para desarrollar la tecnología deseada. Un país también puede recibir asistencia de adquisición para localizar y comprar componentes fundamentales.

Usos típicos relacionados con misiles: Esta tecnología permite que las salidas analógicas de varios dispositivos, como sensores, acelerómetros y giroscopios, sean procesadas por dispositivos digitales, como procesadores de señales digitales y ordenadores de vuelo.

Otros usos: Los ADC se usan ampliamente en aeronaves, sistemas de encendido y sensores de motores. Otras aplicaciones comerciales incluyen grabación de música, instrumentación, cámaras electrónicas y equipos médicos.

Apariencia (como se fabrica): N/C.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

Categoría II - Artículo 15
Instalaciones y equipos para ensayos

Categoría II - Artículo 15: Instalaciones y equipos para ensayos

15.A. Equipos, ensamblajes y componentes

Ninguno.

15.B. Equipo para ensayos y producción

Nota técnica:

En el artículo 15.B. 'mesa vacía' significa una mesa o superficie plana, sin guarniciones ni accesorios.

Equipo para ensayo de vibraciones, utilizable para los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2. o los subsistemas especificados en 2.A. o 20.A., y sus componentes, como sigue:

- a. Sistemas para ensayo de vibraciones que empleen técnicas de realimentación o de bucle cerrado y que incorporen un controlador digital, capaces de someter a un sistema a vibraciones con una aceleración igual o superior a 10 g RMS entre los 20 Hz y los 2 kHz al tiempo que ejercen fuerzas iguales o superiores a 50 kN, medidas a 'mesa vacía';
- b. Controladores digitales, combinados con "programas informáticos" concebidos especialmente para ensayos de vibraciones, con un 'ancho de banda de control en tiempo real' superior a 5 kHz, diseñados para su uso en los sistemas para ensayos de vibraciones especificados en 15.B.1.a. ;

Nota técnica:

El 'ancho de banda de control en tiempo real' se define como la velocidad máxima a la que un controlador puede ejecutar ciclos completos de muestreo, procesamiento de datos y transmisión de señales de control.

- c. Impulsores para vibración (unidades agitadoras), con o sin los amplificadores asociados, capaces de impartir una fuerza igual o superior a 50 kN, medida a 'mesa vacía', y utilizables en los sistemas para ensayos de vibraciones especificados en 15.B.1.a.;
- d. Estructuras de soporte de la pieza que va a someterse a ensayo y unidades electrónicas diseñadas para combinar unidades agitadoras múltiples en un sistema capaz de impartir una fuerza efectiva combinada igual o superior a 50 kN, medida a 'mesa vacía', y utilizables en los sistemas para ensayos de vibraciones especificados en 15.B.1.a.

Nota técnica:

Los sistemas para ensayo de vibraciones que incorporan un controlador digital son aquellos sistemas cuyas funciones son, parcial o totalmente, controladas automáticamente por señales eléctricas almacenadas y codificadas digitalmente.

Naturaleza y propósito: Los sistemas de prueba de vibración de este tipo son equipos grandes y potentes para simular las vibraciones y los golpes de vuelo que los cohetes, los vehículos aéreos no tripulados (UAV) y sus cargas útiles experimentan durante el lanzamiento, la separación de etapas y el vuelo normal. Los misiles y sus subsistemas se prueban para determinar sus modos elásticos, frecuencias y sensibilidades a las vibraciones y los golpes. Esta información se utiliza para mejorar el diseño de misiles y para calificar sistemas, subsistemas y componentes como dignos de vuelo. A veces se utilizan en pruebas de garantía de calidad para detectar conexiones deficientes y componentes sueltos.



Imagen 132: Prueba de vibración de un sistema de altímetro láser. (JAXA)

Un sistema típico de prueba de vibración incluye un Vibrador unidad, o propulsante, para hacer vibrar los artículos de prueba adjuntos; un amplificador de potencia u otra fuente de energía para impulsar el agitador; un controlador para ordenar el amplificador de potencia de acuerdo con la frecuencia de vibración deseada y el perfil de prueba de amplitud; y un sistema de enfriamiento por aire o líquido para el agitador y el amplificador.

Método de operación: Los sistemas de prueba de vibración utilizan propulsores mecánicos que generalmente funcionan con un principio de accionamiento electromagnético como el de un altavoz de audio, excepto que son mucho más grandes y conducen un elemento de prueba masivo en lugar de un cono de altavoz delicado. Los controladores digitales regulan patrones de vibración complejos con contenido de frecuencia de amplitud controlada en todo el rango de 20 Hz a 2000 Hz. Estos patrones están diseñados para simular las frecuencias y amplitudes de vibración esperadas durante la misión, incluida la simulación de explosiones o golpes de vibración. La salida de estos controladores debe amplificarse mucho para impulsar los propulsores. Los sistemas de vibración basados en sistemas hidráulicos y neumáticos, aunque son capaces de probar la vibración de elementos de interés de MTCR, generalmente no son capaces de cumplir con las especificaciones de rendimiento anteriores.



Imagen 133: Un propulsante preparado para la vibración: prueba un misil. (Unholtz-Dickie)

Las armaduras de dos o más propulsores pueden unirse con una estructura de asistencia del equipo de prueba para obtener los niveles de vibración requeridos. Estas estructuras deben ser fuertes y ligeras. Las unidades electrónicas son

Usos típicos relacionados con misiles: Todos los cohetes y vehículos aéreos no tripulados están sujetos a vibraciones y golpes durante el transporte y el vuelo. Si se entiende correctamente la vibración y los golpes, los vehículos de vuelo pueden hacerse más fuertes y más livianos porque se pueden reducir los márgenes de seguridad. El uso de dicho equipo también ayuda a evitar costosas fallas de vuelo de prueba.

Otros usos: Los sistemas de prueba de vibración se utilizan para probar otros equipos y productos militares y comerciales, como piezas de aviones. Las pruebas de vibración se realizan en muchos otros bienes de consumo, pero los sistemas de prueba de vibraciones controlados por MTCR son mucho más potentes y costosos que los necesarios para aplicaciones menos exigentes.

Apariencia (como se fabrica): Los sistemas de prueba de vibraciones controlados por MTCR son dispositivos grandes que ocupan un área de piso de aproximadamente 3 m x 3 m. Los detalles sobre los componentes se dan a continuación.



Imagen 134: Un refuerzo principal de primera etapa en una plataforma de prueba de vibraciones. (Krunichev Space Center)

Controladores digitales y programa informático de prueba de vibraciones especialmente diseñado: El controlador digital es aproximadamente del mismo tamaño que la unidad del sistema para un ordenador personal (PC), 0,5 m de ancho x 0,5 m de profundidad x 0,25 m de alto. En algunos casos, el controlador es un dispositivo electrónico lo suficientemente pequeño como para ser montado en bastidor sobre el amplificador de potencia. En otros, se usa un ordenador, completa con monitores y tarjetas de interfaz personalizadas para la conexión al amplificador de potencia. Los controladores requieren un programa informático de control de vibraciones de propósito especial. Los fabricantes de sistemas para ensayo de vibraciones ahora ofrecen programa informático basado en un ordenador personal que integra las funciones para el control del sistema de prueba, el registro de datos y el análisis de datos.

Propulsantes (unidades agitadoras): Un propulsante controlado por MTCR generalmente tiene una base de acero fundido en forma de U muy pesada con pestañas gruesas para sujetarlo firmemente al suelo. Mide aproximadamente 1,3 m de lado y pesa varias toneladas métricas. La carcasa del agitador de acero cilíndrico o de tambor, de aproximadamente 1 m de longitud y diámetro, se cuelga entre los lados verticales de la base. Estos lados verticales generalmente tienen muñones (pivotes) que permiten rotar la carcasa del agitador para cambiar la dirección de empuje. La Imagen 132 muestra un altímetro láser satelital sometido a una prueba de vibración. La Imagen 134 muestra un refuerzo de núcleo en una plataforma de prueba de vibración.

La parte del propulsante que sacude el elemento de prueba es una armadura metálica redonda que emerge de un extremo de la Carcasa del agitador. La armadura se perfora en un patrón de agujeros para los pernos que se utilizan para unir el elemento de prueba. Un diafragma de goma entre la placa de la armadura y el cuerpo de la carcasa del propulsante se usa a menudo para sellar el funcionamiento interno.

El sistema de propulsión puede incluir una mesa deslizante accesoria (Imagen 135), que a menudo está hecha de magnesio para minimizar el peso. Soporta el peso del artículo de prueba sobre una película de aceite o un cojinete de aire sobre la base de la mesa deslizante, que a menudo está hecha de granito. Para usar la mesa de deslizamiento, el propulsante se gira sobre sus muñones hasta que el eje de movimiento de su armadura es horizontal.

La armadura se une al extremo lateral de la mesa deslizante para hacer vibrar la unidad bajo prueba en cualquier eje horizontal. Tal conjunto de mesa deslizante tiene el mismo tamaño y peso que el conjunto del propulsor, y ambos pueden montarse en una base común.

Amplificador de potencia: El amplificador de potencia para un sistema de prueba de vibración electrodinámica controlado por MTCR ocupa uno o más bastidores completos (cada uno de 0,5 m de ancho x 0,75 m de profundidad x 2 m de alto) de equipos electrónicos de control de potencia. La potencia de entrada eléctrica requerida para conducir dicho sistema es de aproximadamente 60 kW a 80 kW. El consumo de energía es tan grande que debe conectarse al suministro eléctrico del edificio; no puede usar un cable eléctrico estándar y un enchufe.



Imagen 135: Un ejemplo de hélice con mesa deslizante. (Kingdom Pty Ltd)

Enfriador: Debido a que el propulsor y el amplificador emiten aproximadamente la mitad de su energía eléctrica de entrada como calor, se requiere enfriamiento por aire forzado o líquido refrigerante circulante. El ventilador para enfriamiento por aire en una instalación típica mide 1,5 m x 0,5 m x 0,8 m y pesa de 200 kg a 250 kg. La refrigeración líquida hace circular agua de refrigeración a través del sistema de prueba y dentro de una torre de refrigeración o un radiador equipado con ventiladores eléctricos. Cualquiera de los sistemas de refrigeración líquida es al menos tan grande como el ventilador de refrigeración por aire. Alternativamente, un suministro continuo de agua del sitio puede simplemente pasar por el sistema de enfriamiento y drenarse.

- China
- Alemania
- Federación Rusa
- Estados Unidos
- Francia
- Países Bajos
- Reino Unido

Producción global



Estructuras de asistencia: Las estructuras de asistencia del equipo de prueba utilizadas con dicho equipo de prueba de vibración son conjuntos hechos a medida, que miden hasta 3 m x 3 m x 3 m o más, dependiendo de la unidad de prueba, y pesan entre 5 y 10 toneladas. Las unidades electrónicas diseñadas para combinar múltiples unidades de propulsores en un sistema completo de propulsores van desde un ordenador personal ordinario (PC) equipado con múltiples tarjetas de interfaz internas especiales, cada una de las cuales controla una sola unidad de propulsores, hasta uno o más bastidores de equipos electrónicos personalizados.

Las tendencias recientes en las pruebas de vibración utilizan cada vez más sistemas basados en PC porque brindan flexibilidad a bajo costo. Debido a que las tarjetas de interfaz de control del sistema de vibración especializadas están instaladas dentro de los PC, puede que no sea evidente por un examen externo que las PC están controladas por MTCR.

Apariencia (como empaquetado): Con la excepción del controlador del sistema, que generalmente tiene el mismo tamaño que un ordenador personal (PC) y se puede empaquetar para su envío en el embalaje típico del PC, los componentes de un sistema para ensayo de vibraciones de MTCR es tan grande y pesado que debe empacarse en cajones de madera hechos a medida y de construcción extremadamente robusta.

15.B.2. 'Instalaciones de prueba aerodinámica' para velocidades de Mach 0.9 o más, utilizables para los sistemas

Nota:

El artículo 15.B.2 no somete a controllos túneles de viento para velocidades de Mach 3 o menos con una dimensión del "tamaño de la sección transversal de prueba" igual o inferior a 250 mm.

Notas técnicas:

1. Las 'instalaciones para ensayos aerodinámicos' incluyen los túneles aerodinámicos y los túneles de choque para el estudio del flujo de aire sobre los objetos.
2. El 'tamaño de sección transversal de ensayo' se refiere al diámetro del círculo, el lado del cuadrado o el lado mayor del rectángulo, o el eje mayor de la elipse, medidos en la parte mayor de la 'sección transversal de ensayo'. La 'Sección transversal de ensayo' es la sección perpendicular a la dirección del flujo.

Naturaleza y propósito: Los túneles de viento son grandes recintos en los que circula o sopla aire a través de una sección de prueba que contiene una réplica del cohete o UAV, a veces de tamaño completo, pero a menudo un modelo a escala. Se utilizan para medir el rendimiento aerodinámico del diseño de la célula durante un vuelo simulado a través de la atmósfera. La instrumentación en la sección de prueba recopila datos sobre elevación y arrastre del vehículo, estabilidad y control, configuración de entrada y escape del motor, efectos térmicos y firma infrarroja. Los túneles de viento son del tipo de flujo continuo o del tipo de purga (por ejemplo, tubo de choque) y miden parámetros aerodinámicos de larga o corta duración, respectivamente. Algunos túneles de flujo continuo circula igual el aire alrededor, mientras que otros atraen aire fresco en un extremo y lo devuelven a la atmósfera en el otro extremo.



Imagen 136: Un túnel de viento hipersónico capaz de igualar Mach 5 para probar las condiciones de vuelo de los vehículos de lanzamiento. (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd)

Método de operación: Un túnel de viento de flujo continuo utiliza uno o más ventiladores grandes para lograr la velocidad de aire deseada en la sección de prueba. La sección de prueba podría llamarse garganta porque el resto del túnel tiene una sección transversal más grande con velocidades de aire más lentas, incluso a través del ventilador. Pasada la sección de prueba, el aire se desacelera a través de un difusor y luego circula de regreso a través del ventilador para crear un flujo continuo de aire más allá del objeto de prueba.

Alternativamente, algunos túneles de viento simplemente extraen aire de la atmósfera en un extremo a través de un cono de entrada, esencialmente un gran embudo rectangular como se ve en la Imagen 137. En este túnel de viento "de una vez", el aire simplemente sale a la atmósfera después de disminuir la velocidad después de la sección de prueba.



Imagen 137: Una gran instalación de túnel de viento originalmente construida para circulación a través del circuito de edificios en el fondo. Se agregó un cono de entrada en primer plano para permitir también la operación de una sola vez usando los mismos ventiladores. (JAXA)

Si bien el último tipo de túnel puede tener un diseño recto y simplificado para una mejor rentabilidad, se requiere más potencia del ventilador para acelerar continuamente el aire desde un punto muerto. Por el contrario, una ventaja de los túneles de viento en circulación es que la masa de aire encerrada se mantiene en movimiento, reduciendo los requisitos de potencia.

Con el fin de evitar la necesidad de un ventilador extremadamente potente para alcanzar las velocidades más altas, un túnel de viento de soplado opera de manera transitoria en el modo de paso único mientras evita los ventiladores por completo. El aire u otro gas se almacena en un gran depósito a alta presión, luego se libera a través de una válvula de control en el túnel y luego a través de la sección de prueba y fuera.

Usos típicos relacionados con misiles: Los túneles de viento capaces de superar Mach 0.9 se utilizan para probar cohetes, vehículos aéreos no tripulados supersónicos y vehículos de reentrada. Para vuelos de alta velocidad, generalmente por encima de Mach 3, se pueden realizar pruebas de transferencia de calor. Se necesitan túneles de flujo continuo de alta entalpía, o alternativamente tubos de choque, para producir velocidades del viento más allá de Mach 5 para probar misiles balísticos de largo alcance o vehículos hipersónicos (Imagen 136).

Otros usos: Los túneles de viento se utilizan en el diseño de aviones para todos los rangos de velocidad, incluidos los supersónicos.

Apariencia (como se fabrica): Un túnel de viento para probar modelos a pequeña escala podría caber completamente dentro de una habitación en un edificio. Su sección de prueba y otras secciones del túnel pueden ser circulares o rectangulares en sección transversal. Los túneles de viento para probar sistemas de cohetes o UAV de tamaño completo son más típicamente rectangulares. Estas últimas son grandes instalaciones con varios edificios que albergan la sección de prueba, compresores (ventiladores), sistemas de adquisición de datos y fuentes de alimentación (Imagen 6). Históricamente, los túneles de viento más grandes para probar aeronaves no han alcanzado velocidades cercanas a Mach 0.9.

Un túnel de viento de flujo continuo adecuado para probar misiles de tamaño completo generalmente tiene una longitud de 50 m a 100 m y un ancho de 25 m a 50 m, con difusores (conos que se expanden gradualmente) de 10 m a 15 m de diámetro. El túnel de viento de mayor tamaño generalmente

- Canadá
- Francia
- Japón
- Países Bajos
- Suiza
- Estados Unidos
- China
- Alemania
- India
- Federación Rusa
- Reino Unido

Producción global





Imagen 138: Objetos de prueba en la sección de prueba de un túnel de viento hipersónico. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

se presenta en un óvalo horizontal de 10 a 20 veces la longitud de la sección de prueba y de 5 a 10 veces su ancho. Las secciones tubulares del túnel generalmente están hechas de placas de acero soldadas entre sí para formar el circuito, que es soportado desde el exterior por estructuras de acero. Algunos túneles de viento usan secciones de tobera ajustables para variar las características del flujo de aire.

Las secciones de prueba generalmente tienen puertas de acceso para que los objetos de prueba puedan moverse dentro y fuera del túnel de viento y montarse en la asistencia de prueba. Típicamente, la estructura de asistencia de prueba incorpora instrumentos de medición de fuerza para determinar las fuerzas aerodinámicas de

elevación y arrastre, y los momentos de rotación (pares) que experimenta el modelo aerodinámico bajo prueba. La sección de prueba puede tener ventanas para observar el flujo de aire supersónico alrededor del misil con dispositivos especiales de grabación fotográfica de Schlieren (u otros dispositivos de visualización de flujo no intrusivos). La sección de prueba de un túnel grande generalmente tiene un edificio de operaciones asociado que alberga los controles y la instrumentación de recopilación de datos, y puede manejar la inserción, el posicionamiento o la eliminación de objetos de prueba. La prueba de misiles de tamaño completo en túneles de viento de flujo continuo produce los resultados más precisos, pero requiere alta potencia (del orden de 200 000 hp) para mover los grandes volúmenes de aire a velocidades de vuelo.

El túnel de purga almacena aire u otros gases a alta presión en grandes tanques o cilindros. Un conducto de aire sellado por una válvula o diafragma grande conecta los tanques al cono de entrada del túnel y la sección de prueba. Las paredes del túnel generalmente están hechas de acero relativamente grueso y a veces están recubiertas con aislamiento debido a las altas temperaturas generadas por las altas velocidades del viento. Se utiliza un compresor grande para bombear aire a presión dentro de los tanques antes de cada prueba.

Las instalaciones de prueba aerodinámica para las velocidades más altas son típicamente del tipo de purga. Es probable que se denominen tubos de choque, en lugar de ser llamados túneles de viento, y es probable que tengan un tamaño solo para modelos a pequeña escala. Para soportar presiones y temperaturas extremas, pueden consistir en tubos metálicos redondos y es probable que las secciones de prueba no tengan puertas. Las secciones de tubería o tubo están unidas por bridas para que la sección de prueba se pueda quitar fácilmente para colocar los modelos de prueba dentro del tubo.

Apariencia (como empaquetado): Los túneles de viento más grandes están diseñados y construidos a medida en el sitio. Incluso los túneles de viento relativamente pequeños que caben en una habitación, y que pueden fabricarse en serie, generalmente no están completamente ensamblados antes del envío. Los componentes individuales como el motor del compresor, las paletas del ventilador, los álabes de giro de las esquinas (para túneles de circulación), la sección de prueba completa o las paredes de la sección de prueba, las ventanas de visualización y los paneles de control e instrumentación están embalados o montados en palets para su envío. Las paredes de los túneles generalmente se envían como componentes estructurales para ensamblarse en la ubicación de la instalación.

15.B.3. Bancos/bancos de prueba, utilizables para los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2. o los subsistemas especificados en 2.A. o 20.A., que tienen la capacidad de manejar cohetes propulsantes sólidos o líquidos, motores o motores que tienen un empuje mayor de 68 kN, o que son capaces de medir simultáneamente los tres componentes de empuje axial.

- China
- Alemania
- Federación Rusa
- Estados Unidos
- Francia
- Países Bajos
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: Teniendo en cuenta el umbral de empuje de 68 kN (aproximadamente 15 000 libras), los bancos de prueba y los bancos de prueba tienden a incluir grandes estructuras rígidas, para sistemas de cohetes de ensayo, motores de cohetes de propulsante sólido, híbrido o de gel, y motores de cohetes de propulsante líquido. Mantienen de forma segura los elementos de prueba que se operan a pleno rendimiento mientras recopilan datos de rendimiento sobre parámetros críticos. Estos datos respaldan el desarrollo del diseño y confirman la integridad y el rendimiento del diseño, incluida la confiabilidad y la vida útil operativa. Los motores de cohete líquido a veces se prueban en bancos de prueba para verificar el rendimiento antes de la entrega.

Método de operación: El elemento de prueba se monta en el banco de pruebas o en el banco de pruebas. Los sensores están posicionados y controlados. El personal se despeja del área de prueba y los datos se recopilan con sensores y se almacenan de forma remota mientras se opera el cohete.

Los motores de cohetes sólidos grandes se han probado tradicionalmente horizontalmente, aunque algunos se pueden probar verticalmente. Los motores de cohetes de propulsante líquido grandes generalmente se prueban vertical u horizontalmente mientras que los propulsores se suministran desde los tanques de las instalaciones. A veces se prueban las etapas de líquido completas (es decir, incluidos los tanques de vuelo) verticalmente para que los líquidos lleguen a los extremos inferiores de los tanques y, por lo tanto, a los conductos de alimentación del motor. Las etapas del cohete de propulsante líquido se colocan en el banco de pruebas antes de cargar el propulsante, por lo que son livianas y relativamente fáciles de elevar a una posición vertical. Los sensores miden presiones, flujos de propulsores, fuerzas, sincronización de eventos, vibraciones, desplazamientos y temperaturas. Los motores de cohete funcionan hasta el agotamiento y el agotamiento; por el contrario, los motores de cohete de propulsante líquido y los motores de cohete de propulsante híbrido o de gel se pueden estrangular o apagar. Se realizan inspecciones posteriores a la prueba y se analizan los datos.

Usos típicos relacionados con misiles: Los bancos y bancos de pruebas son equipos esenciales en la fase de desarrollo de un programa de misiles. Los bancos de pruebas de motores de cohetes líquidos también se utilizan para pruebas a gran escala de componentes del motor, tales como inyectores, dispositivos de combustión y turbobombas.

Otros usos: Se utilizan bancos de prueba y bases horizontales similares, aunque a menudo más pequeñas, para probar motores a reacción, incluso para su uso en sistemas UAV, incluidos misiles de crucero. Si bien los motores a reacción se prueban en una posición horizontal, sus bancos de pruebas son a menudo estructuras verticales que elevan los motores por encima del suelo, para la seguridad del personal y para obtener aire libre de objetos sueltos y desechos que puedan estar en el suelo al alcance de la entrada de aire.

Apariencia (como se fabrica): Un banco de pruebas de motor de cohete propulsor sólido horizontal (Imagen 139) generalmente consta de una plataforma rodante, una copa de empuje, una celda de carga, un bloque de empuje e instrumentación. El motor de cohete sólido se asegura primero horizontalmente sobre una plataforma móvil y bloqueada. Los motores más grandes a menudo están conectados a un marco, que luego se inserta en la copa de empuje. Los motores más pequeños a menudo se insertan directamente en la copa de empuje. La copa de empuje está acoplada a un conjunto de celda de carga que mide los tres componentes de empuje, uno axial y dos laterales, el último para verificar que las fuerzas fuera del eje sean pequeñas. La estructura de la celda de carga también podría estar diseñada para medir pares (fuerzas de rotación). El ensamblaje de la celda de carga está montado en un gran bloque de concreto o marco de metal llamado bloque de empuje, que absorbe las variaciones de fuerza hacia adelante a medida que se dispara el motor. La instrumentación conectada a la celda de carga envía datos a un bloque que contiene equipos de grabación. El conjunto completo suele estar al aire libre, pero puede estar parcial o totalmente encerrado en un edificio de concreto o en una zanja.



Imagen 139: El sistema de medición de carga en el banco de pruebas de un motor de cohete de propulsante sólido. (JAXA)

Los motores de cohete de propulsante líquido utilizan bancos de prueba verticales, grandes estructuras tipo pórtico hechas de vigas de acero y vigas (Imagen 140). Para las pruebas horizontales, los bancos de prueba de cohetes líquidos están cerca del suelo, que generalmente consisten en una plataforma de concreto que soporta una estructura metálica para montar el motor. El motor de cohete de propulsante líquido está conectado a las celdas de carga, que miden los componentes de empuje como se indicó anteriormente. Estos datos se envían a una casa de blocaos para su grabación. Los tanques que transportan los propulsores, el cubo de la llama y, por lo general, un delantal de un delantal de concreto que dirige el escape lejos del banco de pruebas también son partes de la instalación.



Imagen 141: Un banco de pruebas vertical diseñado para probar motores de cohetes de propulsión líquida. (Interorbital Systems)



Imagen 140: Un motor cohete propulsante sólido en un banco de pruebas. (Avio SpA)

Apariencia (como empaquetado): Los bancos y bancos de prueba de cohetes están diseñados a medida y generalmente se construyen en el sitio, por lo que rara vez se envían como estructuras ensambladas. Una revisión de los dibujos de diseño y las instrucciones de fabricación o ensamblaje pueden identificar el uso previsto de los materiales y componentes de construcción.

15.B.4. Cámaras ambientales de la siguiente manera, utilizables para los sistemas especificados en 1.A. o 19.A. o los subsistemas especificados en 2.A. o 20.A. .:

- a. Cámaras ambientales que tengan todas las características siguientes:
 1. Capaces de simular las siguientes condiciones de vuelo:
 - a. Altitud igual o superior a 15 km; o
 - b. Rango de temperatura de menos de -50 °C a más de 125 °C; y
 2. Que incorporen o estén 'diseñadas o modificadas' para incorporar una unidad agitadora u otro tipo de equipo para ensayo de vibraciones para producir ambientes de vibración iguales o superiores a 10 g RMS, medidos a 'mesa vacía' (bare table), entre 20 Hz y 2 kHz ejerciendo fuerzas iguales o superiores a 5 kN;

Notas técnicas:

1. Artículo 15.B.4.a.2. describe sistemas capaces de generar un ambiente de vibración con una onda única (por ej., onda senoidal) y sistemas capaces de generar una vibración aleatoria de banda ancha (esto es, el espectro de energía).
2. En el Artículo 15.B.4.a.2., 'diseñada o modificada' significa que la cámara ambiental ofrece interfaces adecuadas (p. ej., dispositivos de sellado) para incorporar una unidad agitadora u otro tipo de equipo para ensayo de vibraciones especificado en este artículo.

- b. Cámaras ambientales capaces de simular todas las siguientes condiciones de vuelo:
 1. Ambientes acústicos de un nivel de presión sónica global de 140 dB o superior (referenciado a 2×10^{-5} N/m²) o con una potencia acústica total nominal de salida igual o superior a 4 kilovatios; y
 2. Cualquiera de los siguientes:
 - a. Altitud igual o superior a 15 km; o
 - b. Rango de temperatura de menos de -50 °C a más de 125 °C.

Naturaleza y propósito: Las pruebas ambientales en instalaciones terrestres exponen componentes, subsistemas y vehículos completos a las bajas presiones, altas y bajas temperaturas, vibraciones y acústica del vuelo motorizado para medir las respuestas. Los datos generados se utilizan para confirmar o corregir diseños y, por lo tanto, garantizar la dignidad del vuelo.

Método de operación: La gran altitud se simula al sellar objetos de prueba en cámaras de presión resistentes que luego se evacuan con bombas de vacío. Las temperaturas de vuelo se simulan dentro de cámaras con aislamiento térmico equipadas con calentadores y equipos de refrigeración. Las cámaras de temperatura controladas por MTCR también deben estar equipadas para replicar vibraciones específicas o entornos acústicos. Los equipos de vibración son tablas accionadas por motor capaces de proporcionar espectros de frecuencia de amplitud a los niveles indicados anteriormente y replicar el rango de vibraciones experimentado por un componente, subsistema o sistema durante el vuelo.

Las cámaras acústicas utilizan una combinación de bocinas accionadas electrostáticamente o electromagnéticamente, como altavoces, para proporcionar un espectro de presiones de sonido como las generadas por el escape del motor del cohete y el vuelo aerodinámico de muy alta velocidad.

Usos típicos relacionados con misiles: Las pruebas de altitud se utilizan para investigar el rendimiento del motor, la transferencia de calor, el encendido de altitud, el desarrollo de la tobera y los fenómenos de dinámica de los propulsores. Las pruebas simultáneas de temperatura-vibración y temperatura-acústica se utilizan para someter el equipo informático de misiles a entornos de vuelo de alta fidelidad para desarrollar tecnología y calificar misiles para el vuelo. Dichas pruebas no son necesarias para los programas básicos de misiles, pero son necesarias para el desarrollo avanzado. Este equipo también puede disminuir el costo de un programa de prueba de vuelo, pero algunos de estos equipos, particularmente las grandes cámaras ambientales, pueden ser bastante costosos.

Otros usos: Las pruebas simultáneas de alta altitud y temperatura-vibración y temperatura-acústica se realizan rutinariamente en satélites y componentes de aeronaves.

Apariencia (como se fabrica): Las cámaras de presión ambiental son resistentes, generalmente metálicas, herméticas, cámaras cilíndricas con extremos abultados o hemisféricos para resistir la presión externa de una atmósfera (más un margen de seguridad). A menudo tienen puertos de visión gruesos de vidrio o acrílico. Se utiliza un panel de acceso o puerta en un extremo para insertar y quitar elementos de prueba. Estos a menudo están vinculados a grandes bombas de vacío que evacúan la cámara. Su tamaño es una función de los artículos a ser probados; por lo tanto, pueden variar desde menos de un metro a decenas de metros por lado. Usualmente están respaldados por numerosos edificios que albergan bombas, energía, recopilación de datos y operaciones. La Imagen 142 muestra una vista interior de un motor de cohete sólido que se está probando a una altitud simulada.

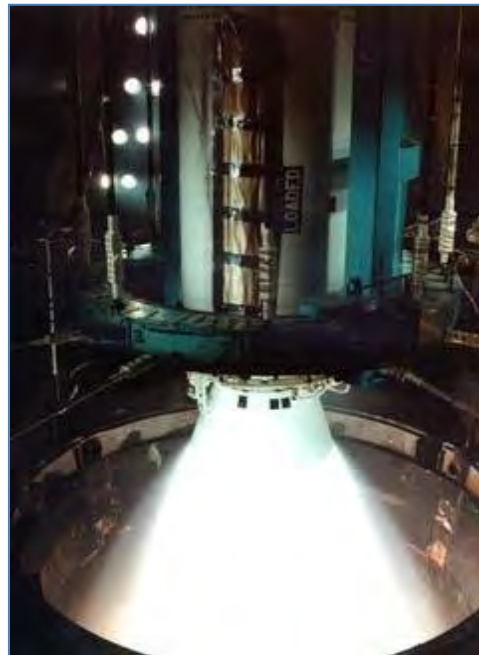


Imagen 142: Un motor de cohete sólido a gran escala que se está probando a gran altitud simulada. (AEDC)

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

Producción global



Las cámaras de temperatura son cámaras o habitaciones con aislamiento térmico con equipos de calefacción y refrigeración. Las cámaras de temperatura controladas por MTCR tienen disposiciones para la vibración o pruebas acústicas a varias temperaturas encontradas en vuelo.

Las cámaras de temperatura para las pruebas de vibración contienen un dispositivo potente para sacudir los elementos de prueba.



Imagen 143: Una configuración del aparato de prueba de vibración y ambiental. (TUV Rheinland)

Este dispositivo, conocido como propulsante o agitador, generalmente tiene una mesa redonda, plana y de acero, que puede tener lugares de montaje pretaladrados/roscados para sujetar artículos de prueba. El movimiento de la mesa a menudo es impulsado por un motor eléctrico lineal cilíndrico de velocidad variable. Dependiendo del tamaño de los artículos probados, estas tablas varían de decenas a miles de kilogramos de peso (Imagen 143 e Imagen 144). Las cámaras ambientales controladas bajo este Artículo pueden simular condiciones de vuelo de 10 g rms o más de 20 Hz a 2,000 Hz, impartir fuerzas de 5 kN o más y tener temperaturas de operación inferiores a -50 °C a más de +125 °C. La Imagen 143 muestra un aparato combinado de prueba ambiental / vibración.

Las cámaras de temperatura para pruebas acústicas son salas grandes con bocinas acústicas montadas en las paredes. Las bocinas en sí son monótonas (operan en una frecuencia) y varían en longitud desde varios centímetros para bocinas de alta frecuencia hasta 1 m para bocinas de baja frecuencia, con el área de salida correspondiente, o tamaños de boca. Las pruebas acústicas generalmente requieren que la cámara esté revestida con material corrugado muy grueso (a menudo en forma cónica), suave, poroso y absorbente de sonido.

Apariencia (como empaquetado): Las cámaras ambientales varían en tamaño, pero generalmente son muy grandes y están construidas en el sitio. Las cámaras de temperatura grandes controladas por MTCR pueden enviarse como paneles prefabricados de materiales de construcción. Las instrucciones de montaje o los planos de construcción pueden ayudar a identificar el uso previsto. Las cámaras de temperatura más pequeñas se envían como un refrigerador común. Las mesas de prueba dinámicas en un estado parcialmente ensamblado se envían en cajones de madera simples, generalmente con algunos contornos internos y amortiguación para las piezas. No es probable que los contenedores de envío de estos equipos resistentes tengan marcas especiales de

manejo. Las bocinas acústicas se envían en botes de metal o cajones de madera. Debido a que los diafragmas del conductor en estas bocinas son componentes sensibles, los contenedores de envío pueden tener marcas especiales de manejo.



Imagen 144: Una cámara ambiental controlada con capacidad de vibración. (Sistemas de prueba dinámica RMS)

15.B.5. Aceleradores capaces de suministrar radiaciones electromagnéticas producidas por radiación de frenado (Bremsstrahlung) a partir de electrones acelerados de 2 MeV o más, y sistemas que contengan dichos aceleradores, utilizables para los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2. o los subsistemas especificados en 2.A. o 20.A.

Nota:

15.B.5. no somete a control equipos especialmente diseñados para fines médicos.

- China
- India
- Federación de Rusia
- Estados Unidos
- Alemania
- Japón
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: Los aceleradores controlados por MTCR son de tres tipos básicos: aceleradores lineales de radiofrecuencia (RF) (linac), máquinas de rayos X flash y aceleradores electrostáticos de alto voltaje con carga mecánica (tipo Van de Graaff). Su uso principal es crear rayos X capaces de penetrar partes de misiles (como motores de cohetes propulsantes sólidos) para que se puedan hacer fotografías de rayos X de sus interiores. Otros usos de los rayos X enérgicos incluyen la simulación de efectos de armas nucleares y la fotografía de rayos X de parada de acción de eventos de muy alta velocidad como explosiones e impactos.

Método de operación: Los aceleradores de mayor interés son el tipo linac. Aceleran un haz o grupo de electrones a velocidades cercanas a la velocidad de la luz al pasarlos a través de cavidades cargadas con un potencial eléctrico (voltaje) suministrado por un generador de RF. Debido a que el efecto de estas cavidades es aditivo, se pueden obtener energías electrónicas totales de millones de electronvoltios (MeV) a partir de dispositivos relativamente pequeños. Este haz energético de electrones sale del linac y golpea un objetivo (generalmente un metal denso como el tungsteno). Los electrones emiten radiación de rayos X a medida que se desaceleran dentro del objetivo. Este fenómeno se llama "bremsstrahlung", alemán para la radiación de frenado. Los rayos X atraviesan el objeto y se graban en una película o, cada vez más, en sensores electrónicos que muestran inmediatamente la imagen en la pantalla de un ordenador. Un acelerador Van de Graaff normalmente crea un gran potencial electrostático al accionar mecánicamente una correa de goma vulcanizada o una cuerda aislante de cuentas metálicas pulidas sobre una superficie aislante. Los objetivos utilizados para detener los electrones en los generadores electrostáticos son láminas de metal como las utilizadas en los aceleradores lineales. La mayoría de las máquinas de rayos X con flash funcionan al cargar un banco muy grande de condensadores a alto voltaje y luego descargarlos repentinamente. Al igual que el linac, la corriente de electrones resultante golpea un objetivo de metal pesado y crea rayos X.

Usos típicos relacionados con misiles: Uno de los usos más importantes de los linacs es producir rayos X para pruebas no destructivas de motores de cohetes sólidos. Se utilizan para encontrar grietas y huecos en el grano propulsante, grietas y soldaduras incompletas en el caso, o uniones incompletas al aislamiento o forro protector. Tal equipo de rayos X se puede usar para inspeccionar la mayoría de los componentes de misiles, como miembros estructurales, soldaduras, toberas y piezas de turbobombas. Si alguno de estos problemas de calidad está presente y no se detecta, puede provocar una falla catastrófica de la etapa del motor, por lo tanto, la necesidad crítica de este equipo. Los linacs también se utilizan para investigar los efectos de la radiación nuclear de la electrónica de misiles y para probar la dureza de la radiación en equipos y piezas.

Estos son también los usos principales de las grandes máquinas de rayos X de flash. Los aceleradores Van de Graaff generalmente no se utilizan para estos fines debido a su tamaño y salida de corriente de haz bajo (y, por lo tanto, de rayos X bajos).

Otros usos: Las máquinas industriales de rayos X de alta energía basadas en el acelerador y microondas industriales se han utilizado rutinariamente para una amplia variedad de aplicaciones industriales durante más de 30 años. Estas aplicaciones incluyen la detección de defectos de piezas fundidas grandes y conjuntos soldados utilizados en la fabricación de componentes de automoción, construcción naval, aeroespacial y producción de energía. Estas máquinas también se utilizan en grandes sistemas de seguridad para la detección de contrabando o explosivos en los envíos de contenedores. Se emplea tecnología similar en la producción de máquinas utilizadas para tratar el cáncer.

Apariencia (como se fabrica): El acelerador 2+ MeV más comúnmente utilizado es el linac, como se muestra en la Imagen 145, debido a su pequeño tamaño y robustez. Estas máquinas de rayos X constan de cinco partes principales: el acelerador, el cabezal de rayos X, los amplificadores o moduladores de RF, una consola de control y un gabinete de bomba de agua. La estructura en forma de caja de la Imagen 145 contiene el acelerador y la cabeza de rayos X.

La fuente de los rayos X es la cabeza de rayos X. Está conectado al modulador de RF por medio de una guía de onda, que es un conducto o cable rectangular rígido o semirrígido. La parte del acelerador del cabezal de rayos X es un tubo o tubería con discos semicirculares en lados alternos a lo largo de su longitud. Este conjunto puede estar en el centro de un electroimán de mayor diámetro. El modulador o amplificador de RF, que suministra energía de RF al tubo de aceleración, a menudo se encuentra en un gabinete separado. Esta energía normalmente está acoplada a través de una guía de onda rectangular o, con menos frecuencia, un cable coaxial. El modulador funciona a una frecuencia correspondiente a la estructura de aceleración, normalmente en el rango de 1 GHz a 3 GHz. Los otros componentes de asistencia son el sistema de control y el sistema de refrigeración por agua.



Imagen 145: Sistema típico de rayos X de linac. (Varian Associates)

Estos sistemas controlan y enfrían el acelerador para mantenerlo dentro de un rango estrecho de temperaturas de operación. Las dimensiones típicas para el cabezal de rayos X, el gabinete del modulador y la consola de control se muestran en la Tabla 1.

Los rayos X producidos por los aceleradores controlados por MTCR son lo suficientemente energéticos como para requerir blindaje de plomo de varios centímetros de espesor. Estos aceleradores a menudo se envían sin blindaje, ya que el blindaje puede ser fácilmente fabricado e instalado por el receptor. A menudo, un sistema sin blindaje se coloca dentro de un edificio blindado.

El otro tipo de acelerador para usar en la generación de rayos X de alta energía es un generador tipo Van de Graaff de accionamiento mecánico. Estos sistemas son mucho más grandes que los aceleradores lineales y más difíciles de colocar, por lo que normalmente no se usan para radiografía. Consisten en una fuente de alimentación de alto voltaje capaz de generar potenciales electrostáticos de 2 MeV o más, un tubo de aceleración hecho de níquel altamente pulido y una consola de control. La fuente de alimentación y el tubo de aceleración suelen ser partes integrales. Están contenidos dentro de un tanque de alta presión hecho de acero de paredes gruesas, que cuando está en funcionamiento, contiene un gas dieléctrico alto como hexafluoruro de azufre o nitrógeno puro a una presión de varias atmósferas.

A diferencia de los aceleradores lineales, que son lo suficientemente pequeños como para rotar alrededor de la pieza que se somete a rayos X, los aceleradores electrostáticos muy grandes permanecen estacionarios, y la pieza de prueba se mueve según sea necesario para lograr el posicionamiento relativo deseado. Las dimensiones típicas de un sistema Van de Graaff se dan en la Tabla 2.

Tabla 1: Dimensiones típicas de Linac			
	Cabeza de rayos X	Gabinete modulador	Control de consola
Altura	0,5 m	1,0 m	0,2 m
Anchura	0,5 m	0,5 m	0,3 m
Profundidad	1,0 m	1,0 m	0,3 m
Peso	200 kg	300 kg	3 kg

Tabla 2: Dimensiones típicas para un sistema Van de Graff		
	Recipiente a presión	Control de consola
Longitud	2,5 m	0,2 m
Diámetro	1,0 m	
Anchura	0,2 m	
Peso	1200 kg	2 kg

El tamaño de los equipos de rayos X varía de una unidad de escritorio a sistemas enormes que requieren edificios especiales. En la Imagen 146 se muestra una unidad típica utilizada para la inspección de granos propulsores de motores de cohetes sólidos.



Imagen 146: Una unidad de rayos X flash de 2.3MeV utilizada para inspeccionar motores de cohetes de propulsante sólido. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

El equipamiento puede etiquetarse con etiquetas de precaución de rayos X, señales de campo de RF y posiblemente etiquetas que indiquen alto voltaje. El sistema puede ser más pesado que los sistemas de baja energía debido a la cantidad de blindaje de plomo, si se envía con el blindaje instalado, requerido para proteger al personal de los rayos X penetrantes.

Apariencia (como empaquetado): Los aceleradores lineales se empaquetan para su envío en cajas o cajones. Pueden aparecer como tres gabinetes separados. La cabeza y el modulador de rayos X normalmente provienen del mismo proveedor. El sistema de enfriamiento y el sistema de control se pueden comprar por separado.

El embalaje utiliza espuma, espuma de poliestireno u otro relleno atenuador de golpes para proteger el modulador de vibraciones y golpes excesivos. El

Los aceleradores electrostáticos son mucho más grandes. El suministro de alto voltaje y el tubo de aceleración se envían juntos dentro del recipiente a presión. Debido a su peso, lo más probable es que el recipiente a presión se envíe en un cajón hecho para el manejo de montacargas. No es probable que la unidad se envíe en condiciones operativas y, por lo general, tiene material de empaque adicional dentro del recipiente a presión para soportar el suministro de alto voltaje y la columna de aceleración.

15.B.6. 'Instalaciones para ensayos aerodinámicos utilizables para los sistemas especificados en 1.A. o 19.A. o los subsistemas especificados en 2.A. o 20.A., que tengan cualquiera de las siguientes características:

- a. suministro de energía eléctrica igual o superior a 5 MW; o
- b. presión total del suministro de gas igual o superior a 3 MPa.

Nota técnica:

Las 'instalaciones para ensayos aerodinámicos' incluyen instalaciones de chorro de arco de plasma y túneles aerodinámicos de plasma para el estudio de los efectos térmicos y mecánicos del flujo de aire sobre los objetos.

- Bélgica
- China
- Francia
- Alemania
- Israel
- Italia
- Japón
- Federación Rusa
- Estados Unidos

Producción global



Naturaleza y propósito: Las instalaciones de prueba aerodinámica simulan el entorno de flujo áspero que encuentra un misil mientras vuela a velocidades muy altas, como las asociadas con la reentrada balística. Las instalaciones de prueba aerodinámica también se utilizan en el desarrollo de sistemas de protección térmica para misiles balísticos.

Las instalaciones de chorro de arco de plasma proporcionan flujos de temperatura de alta velocidad capaces de reproducir temperaturas y flujos de calor asociados con la reentrada de calentamiento local al artículo de prueba. Un túnel de viento de plasma (túnel de arco de plasma) incorpora un plasma para simular el calentamiento aerodinámico y el flujo cerca de la superficie del misil que vuela a muy alta velocidad.

Método de operación: Un chorro de arco (Imagen 147) es un dispositivo en el que los gases se calientan y se expanden a temperaturas muy altas y velocidades supersónicas/hipersónicas mediante un arco eléctrico continuo entre dos conjuntos de electrodos. Una fuente de alto voltaje produce un arco eléctrico que sobrecalienta el gas de prueba hasta el punto de ionización. Los gases (típicamente aire) pasan a través de una tobera dirigida a una muestra de prueba en vacío, y fluyen sobre ella, produciendo una aproximación razonable de la temperatura y presión de la superficie y la entalpía de gas que se encuentra en un flujo supersónico de alta velocidad del tipo experimentado por Un vehículo durante la reentrada atmosférica.

Los túneles de viento de plasma utilizan un arco eléctrico de alta corriente para calentar el gas de prueba a una temperatura muy alta. Las condiciones de plasma en un túnel de viento de plasma están determinadas por la fuente de plasma utilizada, los parámetros de funcionamiento y la posición del artículo de prueba en el haz de plasma. Un túnel de viento de plasma consta de una cámara de arco, una tobera, una cámara de prueba y un sistema de vacío para mantener la cámara de prueba a baja presión. El gas de prueba frío fluye a través de la cámara de arco y la tobera. Se establece un arco eléctrico a través del gas entre un electrodo aislado en la cámara de arco y alguna superficie de la cámara de arco. El arco eléctrico eleva la temperatura del gas de ensayo a

nivel de ionización produciendo un plasma, que es una mezcla de electrones libres, iones cargados positivamente y átomos neutros. El argón se usa típicamente como gas de prueba en lugar de aire debido al mayor grado de ionización que se puede lograr para una entrada de potencia dada.

Para reproducir las condiciones de flujo cerca de la superficie del elemento de prueba presente durante el vuelo real a alta velocidad con la mayor precisión posible en el túnel de viento de plasma, las características del haz de plasma y los cambios en el material a examinar deben determinarse de la manera más exacta posible.

Usos típicos relacionados con misiles: Las instalaciones de prueba aerodinámica con un suministro de energía eléctrica igual o superior a 5 MW o una presión total de suministro de gas igual o superior a 3 MPa se utilizan para probar misiles en condiciones ambientales de reentrada.

Otros usos: Las instalaciones de prueba aerodinámica también se utilizan para probar sistemas de protección térmica en naves espaciales en condiciones ambientales de reentrada y en condiciones ambientales asociadas con exploraciones planetarias. Algunos sistemas de plasma de alta temperatura tienen aplicaciones industriales en la gasificación a alta temperatura de biomasa y desechos no peligrosos, la destrucción de desechos peligrosos (como cenizas volantes y asbesto), la reducción e inmovilización de desechos radiactivos de bajo nivel y en la industria del acero.

Apariencia (como se fabrica): Las instalaciones de túnel de viento de plasma y chorro de arco pueden variar en tamaño, desde modelos a pequeña escala que caben en una habitación de un edificio (Imagen 148) hasta instalaciones que abarcan una gran bahía completa a complejos grandes con varios edificios que albergan los diversos componentes del sistema de chorro de arco del edificio (Imagen 18).

Apariencia (como empaquetado): Las instalaciones de chorro de arco y los túneles de viento de plasma generalmente están diseñados y construidos a medida en el sitio. Los componentes de las instalaciones de túnel de viento con chorro de arco y plasma, como las secciones de prueba, los paneles de control e instrumentación, están embalados y montados en palets pesados para su envío.



Imagen 147: Instalación de calentamiento por interacción (60 MW) de chorro de arco. (National Aeronautics and Space Administration (NASA))



Imagen 148: Imagen del interior del Johnson Space Center (JSC) Materiales de reentrada atmosférica e Instalación de evaluación de estructuras (Arc-Jet) (NASA)



Imagen 149: Descripción aérea del complejo chorro de arco en el Centro de Investigación Ames de la NASA (NASA)

15.C. Materiales

Ninguno.

15.D. Programas informáticos

15.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de los equipos especificados en 15.B. utilizables para probar sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2. o subsistemas especificados en 2.A. o 20.A.

Naturaleza y propósito: El programa informático utilizado en las instalaciones de prueba de cohetes y sistemas UAV a veces está específicamente diseñado para operar equipos de prueba especializados y registrar los resultados de la prueba para su posterior análisis. Sin embargo, en algunos casos, el usuario final puede configurar un programa informático moderno de uso general para satisfacer las necesidades de dichas instalaciones de prueba. Una función general del programa informático es operar automáticamente equipos de prueba especializados, mientras que una segunda función es recolectar y almacenar datos de prueba. La última función, la adquisición de datos, es más probable que se realice utilizando un programa informático de propósito general que no está controlado en el Artículo 15.D.1. Una tercera función es analizar los resultados de las pruebas, lo que podría hacerse utilizando un programa informático especializado o un programa informático de propósito general que esté especialmente configurado.

Por ejemplo, el programa informático utilizado para operar sistemas para ensayo de vibraciones proporciona señales apropiadas a los controladores digitales que simulan las vibraciones asociadas con el vuelo impulsado por misiles balísticos. Esta señal se puede variar en un rango de frecuencias y amplitudes. El sistema informático de la instalación registra las señales del acelerómetro para determinar la respuesta vibratoria del artículo de prueba, como una placa de aviónica, un giroscopio de estado sólido o un componente de propulsión. Otro ejemplo de una tarea de programa informático es recopilar datos del túnel de viento durante las pruebas instrumentadas de la célula. Los sistemas computarizados pueden registrar la velocidad del viento y los datos de elevación, arrastre, estabilidad, efectos térmicos y firma infrarroja generados por el artículo de prueba. El motor de cohete de propulsante sólido y el programa informático de prueba de motor de cohete de propulsante líquido recopilan información del motor instrumentado y los componentes del motor mientras se prueba el motor. Los resultados de la prueba incluyen presiones transitorias de arranque y de funcionamiento, deformaciones de la carcasa del motor, datos térmicos y datos de rendimiento del motor, entre otras lecturas. Todos estos datos se analizan para evaluar el rendimiento del subsistema de cohetes y la idoneidad del diseño.

Método de operación: Un sistema para ensayo de vibraciones típico incluye una unidad de agitación para hacer vibrar los artículos de prueba adjuntos; un amplificador de energía eléctrica u otra fuente de energía (por ejemplo, hidráulica) para accionar el agitador; un controlador para ordenar el amplificador de potencia de acuerdo con la frecuencia de vibración deseada y el perfil de prueba de amplitud; y un sistema de enfriamiento por aire o líquido para el agitador y el amplificador. El artículo de prueba está montado de forma segura en el accesorio de la mesa de vibración, mientras que el artículo de prueba tiene sus propios sensores montados y otros puntos de recogida de instrumentación, generalmente pequeños acelerómetros piezoeléctricos autoexcitantes. Se conectan otros cables de señal para registrar cualquier respuesta eléctrica interna o cambio de señal que pueda ocurrir durante la prueba. El operador ingresa la frecuencia de vibración y la información de amplitud al controlador del ordenador que luego traduce esta entrada en señales enviadas al amplificador de potencia que controla la mesa vibradora.

El programa informático utilizado para soportar el túnel de viento y el motor de cohete de propulsante sólido o los disparos de prueba de motor de cohete de propulsante líquido pueden tener una secuencia programada de velocidades y tiempos de túnel de viento, o una secuencia programada de aperturas y cierres de válvulas en el caso de prueba de cohete líquido.

Simultáneamente durante las pruebas, si bien la función de adquisición de datos puede ser realizada por un ordenador separado, el programa informático moderno de uso general hace posible ejecutar pruebas y recopilar datos con un ordenador. El lado de adquisición de datos del programa informático puede tener capacidades analíticas integradas para ayudar al ingeniero de misiles a evaluar los resultados de la prueba.

Usos típicos relacionados con misiles: Este tipo de programa informático controla el equipo de prueba que simula el entorno que experimentará un cohete o un sistema UAV en vuelo sin tener que consumir un misil para la prueba. La aplicación de procedimientos de prueba de tierra en sistemas de vuelo reduce el tiempo y el costo de desarrollar estos subsistemas.

Otros usos: Este tipo de programa informático está disponible para otras industrias. Las estaciones de prueba de vibración y los túneles de viento se utilizan para probar otros productos militares y civiles, como los aviones. El mismo programa informático, quizás con modificaciones menores, se usa para controlar el funcionamiento de estos equipos de prueba y para monitorear los resultados de los artículos de prueba. El programa informático de propósito general para la instrumentación de prueba (por ejemplo, LabVIEW™) se usa para una amplia variedad de propósitos y no se controla en el Artículo 15.D.1.

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, unidad flash USB, discos compactos y documentos puede contener este programa informático y datos.

Apariencia (como empaquetado): La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos 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, puede transmitirse electrónicamente a través de una red informática.

15.E. Tecnología

15.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 15.B. o 15.D.

Naturaleza y propósito: La tecnología para desarrollar instalaciones y equipos de prueba, que a su vez se utilizan para desarrollar y producir cohetes o UAV, implica una comprensión exhaustiva de los sistemas de vuelo que se probarán y la respuesta esperada a las pruebas. También se requiere experiencia para diseñar, construir y operar equipos de prueba que sean lo suficientemente precisos para simular con precisión el entorno de vuelo mientras se registran las mediciones. En ausencia de transferencia de tecnología, un país puede desarrollar programa informático de prueba especializado o configurar programa informático de propósito general con el tiempo a medida que obtiene información basada en experimentos. Los dibujos de ingeniería (a veces denominados copias heliográficas) que detallan cómo fabricar u operar equipos de prueba relacionados con misiles obviamente serían piezas críticas de tecnología. La transferencia de conocimientos para generar o configurar programa informático de prueba y análisis constituiría igualmente una transferencia de tecnología controlada por MTCR.

Método de operación: La asistencia técnica está disponible de muchas formas. La asistencia técnica puede consistir en la instrucción brindada por una persona con experiencia en uno o más temas controlados, como equipos de ensayo de vibraciones grandes o ensayos de 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 una habilidad de producción particular. Un país puede recibir asistencia para la adquisición, ya sea en forma de provisión de equipo técnico, máquinas o materiales, o en forma de asistencia para determinar el elemento necesario para el programa. 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.

Usos típicos relacionados con misiles: La asistencia técnica requerida para construir y operar equipos de prueba de cohetes o UAV puede usarse solo para esos fines (por ejemplo, en el caso de bancos de prueba) o puede ser útil en una variedad de aplicaciones civiles y militares. Los vehículos de lanzamiento espacial y los cohetes sonoros utilizados en la investigación meteorológica son, con pequeños ajustes, misiles balísticos. La tecnología utilizada en misiles balísticos y en vehículos de lanzamiento espacial o cohetes sonoros es esencialmente la misma.

Otros usos: Las aeronaves civiles y militares pueden usar versiones reducidas de esta tecnología. Del mismo modo, esta tecnología puede usarse para probar subsistemas y componentes sensibles para vehículos terrestres.

Apariencia (como se fabrica): N/C.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

Categoría II - Artículo 16
Modelización, simulación e
integración de diseño

Categoría II - Artículo 16: Modelización, simulación e integración de diseño

16.A. Equipos, ensamblajes y componentes

16.A.1. Computadoras híbridas (analógicas/digitales combinadas) especialmente diseñadas para modelar, simular o integrar diseños de sistemas especificados en 1.A. o los subsistemas especificados en 2.A.

Nota:

Este control solo se aplica cuando el equipo se suministra con los "programas informáticos" especificados en 16.D.1.

- | | |
|--------------|---------------------|
| •Australia | •Brasil |
| •Canadá | •China |
| •Francia | •Alemania |
| •India | •Israel |
| •Italia | •Japón |
| •Noruega | •Federación Rusa |
| •Sudáfrica | •República de Corea |
| •Suecia | •Ucrania |
| •Reino Unido | •Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: Las herramientas de programa informático de integración de modelado, simulación y diseño proporcionan medios asequibles para planificar y optimizar en última instancia misiones y operaciones militares y espaciales de alto costo. Al permitir que el diseñador construya y vuele sistemas de cohetes y vehículos aéreos no tripulados (UAV) utilizando ordenadores, se pueden investigar y probar numerosos cambios de diseño y entornos de vuelo utilizando herramientas de programa informático, lo que reduce el gasto de construcción, prueba y rediseño iterativo de equipo informático de vuelo. La capacidad de modelado matemático disminuye drásticamente el costo y el tiempo necesarios para desarrollar un cohete o UAV. Varios códigos generados por ordenador tienen un papel fundamental en el diseño de un misil con la capacidad de rendimiento deseada, especialmente para misiles de mayor alcance. Usar una biblioteca completa de modelos de programa informático para validar el

rendimiento en la etapa de diseño conduce a misiles con las compensaciones más apropiadas relacionadas con la misión, incluidas las capacidades de rango y carga útil.

Los ordenadores híbridos combinan componentes analógicos y digitales para explotar las ventajas de cada uno. Además de la utilidad histórica en el modelado de diseño, ha habido aplicaciones para el procesamiento de datos en tiempo real. Son útiles en situaciones en las que las velocidades de datos son extremadamente altas y la relación señal/ruido es baja, como las matrices de plano focal en sensores avanzados. Estas condiciones pueden ser estresantes para los ordenadores puramente digitales porque tales ordenadores no siempre pueden mantenerse al día con el flujo de datos, y la baja intensidad de la señal a veces no crea el claro "1" o "0" requerido por un dispositivo digital. Por lo tanto, los circuitos analógicos a veces se han utilizado para recopilar y procesar la salida del sensor antes de digitalizar los datos.

Método de operación: La mayoría de los modelos de software de diseño de misiles representan la física de la operación de misiles para probar las características estructurales de misiles y componentes (Imagen 150 e Imagen 151). Los modelos aerodinámicos modernos pueden ofrecer un tratamiento altamente preciso de los flujos internos y externos al misil y pueden adaptarse a la geometría específica del misil bajo evaluación.

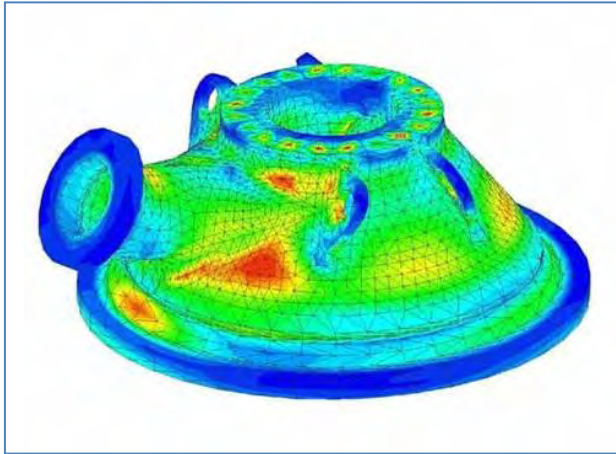


Imagen 150: El programa informático de modelado y simulación se ha utilizado para analizar la estructura de motores y componentes de cohetes, propulsores satelitales, tanques de propulsores y antenas. (EADS)

Los modelos termodinámicos predicen tanto el calentamiento por fricción como las reacciones químicas involucradas en la propulsión de misiles y la protección térmica, y el flujo de calor resultante en componentes críticos de misiles. Las aplicaciones de modelos de elementos finitos en el diseño de estructuras de misiles ahora son comunes, al igual que las aplicaciones de modelos que combinan equipo informático de guiado y controles de misiles para probar el rendimiento. Una vez diseñado, el equipo informático del subsistema se prueba con frecuencia mediante simuladores de equipo informático en bucle. El equipo informático en el circuito se refiere a actividades de prueba que son parcialmente simuladas y parcialmente reales, como probar en banco el sistema de dirección para un misil usando aletas y actuadores reales, mientras que un ordenador simula

la ruta de vuelo resultante con un modelo matemático para todo misil en el vuelo. Para una prueba de “circuito cerrado”, el ordenador usaría la ruta de vuelo calculada para producir datos de sensores de navegación simulados para alimentar el sistema de dirección real que se está probando. La complejidad de tales pruebas puede variar ampliamente, es decir, el equipo informático real que se está probando podría ser un enlace mecánico o podría ser un subsistema completo de guiado y control.

Usos típicos relacionados con misiles: El programa informático de diseño de misiles se puede aplicar de varias maneras durante las primeras fases del proceso de diseño. El modelado y las simulaciones se pueden utilizar para definir y probar los parámetros y funciones de los sensores y otros equipos de comunicaciones, así como la carga útil de las armas; y para crear y definir múltiples configuraciones, capacidades de empuje, cargas de vuelo aerodinámicas, requisitos estructurales, requisitos de aislamiento térmico y los requisitos de orientación o control de los conceptos o modelos de diseño candidatos. Los diseños de equipo informático del subsistema basados en estos modelos se someten a pruebas de rendimiento, a menudo con programa informático de simulación en el bucle, para validar sus capacidades y refinar los modelos para hacerlos más específicos de diseño. Luego, el ordenador combina estos modelos específicos de diseño para representar un cohete integrado o un sistema UAV en vuelo y confirmar sus capacidades de diseño antes de las pruebas de vuelo reales. Este enfoque de modelado elimina gran parte de la necesidad de costosas pruebas de vuelo iterativas.

Otros usos: Muchos de los modelos de programa informático más fundamentales utilizados en el diseño de sistemas de misiles se usan comúnmente en el mercado. Las técnicas de modelado estructural se utilizan en el diseño de automóviles, camiones, aviones de pasajeros, edificios y otras infraestructuras. Los códigos termodinámicos se utilizan en el diseño de satélites, plantas de energía eléctrica y todo tipo de motores. Los ordenadores de movimiento de vuelo tienen amplias aplicaciones para entrenamiento de pilotos y otros simuladores de vuelo.

Apariencia (como se fabrica): El programa informático para el diseño de misiles es físicamente indistinguible del programa informático comercial. Está contenido en los mismos discos de ordenador o CD-ROM, etc. Los ordenadores analógicos/híbridos de misiles son componentes electrónicos personalizados generalmente más pequeños que una caja de pan. Los ordenadores de movimiento de vuelo son gabinetes con bastidores electrónicos estándares comerciales. El programa informático de misiles y los modelos especializados de dinámica de vuelo también se pueden cargar en un ordenador digital pura en tiempo real (emulador de vuelo). Se pueden usar modelos en tiempo real para reemplazar el equipo informático del artículo de prueba en el bucle.

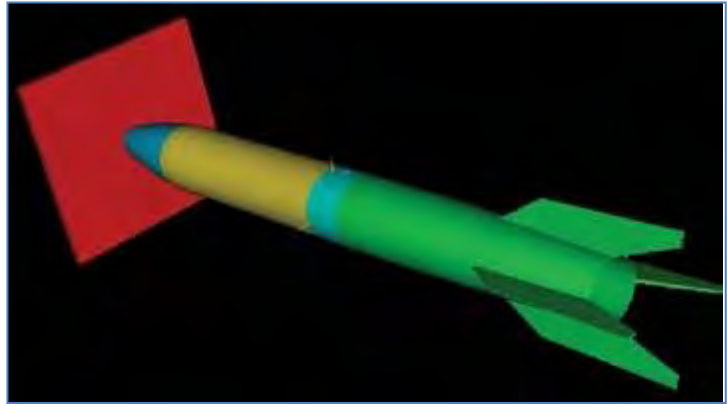


Imagen 151: Un modelo computacional utilizado para una simulación de un impacto de misil. (Sandia National Laboratories)

Apariencia (como empaquetado): La electrónica personalizada, como los ordenadores analógicos/híbridos, se puede empaquetar de varias maneras, incluidos los contenedores troncales utilizados para enviar instrumentos sensibles y monitores de ordenador. Los ordenadores de movimiento de vuelo generalmente se envían como otros equipos electrónicos. Otro equipo informático del simulador de vuelo, incluidas las mesas de movimiento de vuelo, puede empacarse en cajones de madera para su envío. Los modelos y el programa informático en tiempo real se parecen a cualquier otro producto de programa informático y se empaquetan en cajas de cartón, posiblemente en una envoltura retráctil (si es comercial/nueva) o en medios de transferencia estándar sin marcar, como disquetes, CD-ROM o cinta magnética de ¼ de pulgada cartuchos

16.B. Equipo de prueba y producción

Ninguno.

16.C. Materiales

Ninguno.

16.D. Programas informáticos

16.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados para modelar, simular o integrar el diseño de los sistemas especificados en 1.A. o los subsistemas especificados en 2.A o 20.A.

Nota técnica:

La modelización incluye en particular el análisis aerodinámico y termodinámico de los sistemas.

- | | |
|--------------|---------------------|
| •Australia | •Canadá |
| •China | •Francia |
| •Alemania | •India |
| •Israel | •Italia |
| •Japón | •Federación Rusa |
| •Sudáfrica | •República de Corea |
| •Suecia | •Suiza |
| •Reino Unido | •Estados Unidos |

Producción global



Naturaleza y propósito: Se pueden investigar numerosos cambios de diseño y entornos de vuelo mediante el uso de programa informático de modelado, simulación e integración de diseño, reduciendo así los gastos de construcción, prueba y rediseño de equipo informático real. Esta capacidad de modelado disminuye drásticamente el costo y el tiempo necesarios para desarrollar un cohete o UAV. Los modelos basados en ordenador juegan un papel crítico en el diseño de un cohete o UAV con la capacidad de rendimiento de rango de carga útil deseada. Esto es especialmente cierto cuando se diseñan misiles balísticos de mayor alcance. El uso de un modelado de programa informático integral para validar el rendimiento en la etapa de diseño conduce a misiles con las compensaciones más apropiadas relacionadas con la misión, incluidas las capacidades de rango y carga útil.

Método de operación: La mayoría de los modelos de programa informático de diseño de misiles representan la física de la operación de misiles. Los modelos aerodinámicos modernos ofrecen un tratamiento altamente preciso de los flujos internos y externos al misil y pueden adaptarse a la geometría específica del misil bajo evaluación. Los modelos termodinámicos predicen el calentamiento aerodinámico y las reacciones químicas involucradas en la protección térmica y la propulsión de misiles, y la transferencia resultante de calor a componentes críticos de misiles. Los modelos de elementos finitos ahora se usan comúnmente para diseñar estructuras de misiles, al igual que los modelos que combinan equipo informático del sistema de guiado y conjuntos de control de vuelo de misiles para probar el rendimiento a nivel del sistema. Un ejemplo de la salida de un modelo de estructura de misiles se muestra en la Imagen 151 anterior.

Usos típicos relacionados con misiles: El programa informático de diseño de misiles se puede aplicar al principio del proceso de diseño para definir la configuración general, las capacidades de empuje, las cargas de vuelo aerodinámicas, los requisitos estructurales, los requisitos de aislamiento térmico y los requisitos de orientación o

control de los conceptos de diseño candidatos, o modelos. Los diseños de equipo informático del subsistema basados en estos modelos se prueban, a menudo con programa informático de simulación en el bucle, para validar sus capacidades y refinar los modelos para que sean más específicos del diseño.

Otros usos: Muchos de los modelos de programa informático más efectivos utilizados para diseñar sistemas de cohetes o UAV se utilizan comúnmente en el mercado. Un modelo estructural popular, NASTRAN, se utiliza para diseñar automóviles, camiones, aviones de pasajeros y puentes, por citar algunos ejemplos. Los códigos termodinámicos como SINDA se utilizan para diseñar satélites, plantas de energía eléctrica y todo tipo de motores.

Apariencia (como se fabrica): El programa informático para el diseño de misiles es físicamente indistinguible del programa informático comercial. Está contenido en el mismo tipo de discos de ordenador o CD-ROM, etc. utilizados para otro programa informático. Alternativamente, el programa informático de misiles y los modelos especializados de dinámica de vuelo pueden cargarse en un ordenador digital pura en tiempo real (emulador de vuelo). Se pueden usar modelos en tiempo real para reemplazar el equipo informático del artículo de prueba en el bucle.

Apariencia (como empaquetado): El programa informático especialmente diseñado para diseñar productos aeroespaciales y militares a menudo se anuncia como tal. Los modelos y el programa informático en tiempo real generalmente se venden como cualquier otro producto de programa informático y se pueden vender directamente a través de Internet. En el pasado, el programa informático se empaquetaba en cajas de cartón, posiblemente en una envoltura retráctil (si es comercial/nueva) o en medios de transferencia estándar sin marcar, como disquetes, CD-ROM o cartuchos de cinta magnética de 1/4".

Información adicional: Los ordenadores digitales de alta velocidad pueden proporcionar un apalancamiento considerable para desarrollar programa informático de vuelo de misiles en tiempo real. Algunos estándares informáticos comerciales son lo suficientemente rápidos como para admitir simulaciones de rendimiento de misiles en tiempo real. El ordenador de movimiento de vuelo es el integrador esencial que hace que estos ordenadores comerciales sean útiles como emuladores que soportan el desarrollo y prueba de programa informático de misiles. Los ordenadores de movimiento de vuelo utilizan programa informático de sistema operativo especializado que les permite actuar como controladores de simulación y registradores de datos de rendimiento de vuelo.

16.E. Tecnología

16.E.1. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos especificados en 16.A. u 16.D.

Naturaleza y propósito: La tecnología de integración de modelado, simulación y diseño es el conocimiento o los datos necesarios para diseñar el programa informático y los ordenadores necesarios para el desarrollo de misiles, UAV y sus subsistemas y componentes. El programa informático de modelado se puede utilizar para el diseño de ingeniería, simulaciones de vuelo y como ayuda en las pruebas. El modelado por ordenador implica una comprensión sofisticada del dominio físico que se simula. Un diseñador debe tener un conocimiento profundo del sistema o subsistema de misiles y luego ser capaz de convertir el conocimiento de este tema en un modelo de ordenador, es decir, programa informático para cálculos matemáticos y producir resultados numéricos y gráficos. La precisión del modelo mejorará a medida que el diseñador gane experiencia a través de la experimentación y las pruebas del mundo real.

Método de operación: La tecnología de integración de modelado, simulación y diseño está disponible en muchas formas. La asistencia técnica puede consistir en la instrucción proporcionada por una persona con experiencia en la escritura o modificación de programa informático de modelado, diseño o simulación de vuelo de baja calidad existente en lo que apoyará el trabajo del sistema de cohetes o diseño de vehículos aéreos no tripulados, o una persona 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 especializados en programa informático de diseño o modelado. 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: La tecnología requerida para desarrollar programa informático de modelado o diseño de cohetes o UAV está parcialmente especializada. Los cohetes de sondeo utilizados en la investigación del clima son, con ajustes menores, misiles balísticos, y la tecnología de modelado y diseño utilizada en misiles balísticos y en cohetes de sondeo es esencialmente la misma.

Otros usos: Aunque la tecnología requerida para desarrollar programas informáticos de modelado o diseño de cohetes o UAV es parcialmente especializada, algunas pueden ser generalmente aplicables a muchos otros propósitos. Los diseñadores de UAV pueden usar versiones del programa informático de diseño y modelado utilizado en las industrias de aviación civil y militar.

Apariencia (como se fabrica): N/C.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

Categoría II - Artículo 17

Sigilo

Categoría II - Artículo 17: Sigilo

17.A. Equipos, ensamblajes y componentes

17.A.1. Dispositivos para observables reducidos, tales como reflectividad de radar, firmas ultravioleta/infrarroja y firmas acústicas (es decir, tecnología sigilosa), para aplicaciones utilizables para los sistemas especificados en 1.A. o 19.A. o los subsistemas especificados en 2.A. o 20.A.

- Brasil
- Francia
- Grecia
- Italia
- Países Bajos
- Sudáfrica
- Taiwán
- Estados Unidos
- China
- Alemania
- Israel
- Japón
- Federación Rusa
- Suecia
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: La necesidad de proteger los misiles de la detección, interceptación y destrucción ha llevado al desarrollo de tecnologías para reducir sus observables. Cuando los observables reducidos son un objetivo de diseño primario para un vehículo nuevo, a menudo se los conoce genéricamente como tecnología "sigilosa". Las reflexiones y las emisiones se reducen o adaptan mediante el uso de formas cuidadosamente diseñadas y materiales especiales. Se pueden utilizar otros dispositivos como el radar de interceptación de baja probabilidad. El objetivo es hacer que el objeto sea difícil de detectar.

Método de operación: Las emisiones y los reflejos son de naturaleza acústica o electromagnética. Las emisiones se mantienen al mínimo por cualquiera de una amplia gama de técnicas, tales como escalonamiento de frecuencia, aislamiento de vibración, blindaje, enmascaramiento, dirección y amortiguación.

Las emisiones y reflexiones electromagnéticas se producen en numerosas bandas de frecuencia, incluidas las bandas de microondas (radar), infrarrojo (IR), visible y ultravioleta. Debido a que la firma de un vehículo varía significativamente entre bandas de frecuencia e incluso dentro de ellas, se deben aplicar diferentes métodos en todo el espectro. Las emisiones y los reflejos se pueden alejar del observador y/o reducir su amplitud o alterar la respuesta de frecuencia con la ayuda de formas y materiales cuidadosamente seleccionados. Esta reducción se logra mediante la conformación, el material o los dispositivos para emisiones controladas, reflectancia, absorción y segundas superficies (aisladores y reflectores adicionales). Estas técnicas o dispositivos ocultan la verdadera naturaleza del objeto del observador o permiten que el vehículo sea detectable solo en ciertos ángulos y por breves intervalos, retrasando o evitando así la detección y el enganche.

Usos típicos relacionados con misiles: La tecnología Stealth se utiliza para hacer que los misiles balísticos, los vehículos aéreos no tripulados (UAV), incluidos los misiles de crucero, y sus cargas útiles sean más difíciles de detectar, rastrear, identificar y atacar mediante sistemas de armas defensivas. La mayoría de los elementos de diseño de estos sistemas están sujetos a tratamiento con tecnología sigilosa, incluida su forma básica, sus componentes estructurales, sus superficies y bordes de ataque, y sus entradas y aberturas (Imagen 152).



Imagen 152: Una imagen de un vehículo que se presume que es un UAV bajo observable, que grava en una pista. (Semana de la aviación)

Otros usos: La mayoría de los materiales utilizados para el control de firmas se desarrollaron originalmente para aviones militares y se encuentran en sistemas de ala fija y rotativa. Los materiales absorbentes de radar también se utilizan ampliamente en instalaciones de prueba para radares. Se encuentran versiones modificadas de los materiales y técnicas de tratamiento en algunos barcos, submarinos y vehículos tácticos y de combate terrestre. La tecnología de materiales de control de emisiones también se utiliza para controlar las temperaturas en los satélites. Se pueden usar varios dispositivos con equipo de comunicación para reducir la detectabilidad. Existen usos comerciales para algunos de los materiales de bajo costo y bajo rendimiento para reducir la interferencia electromagnética y para reducir la carga solar.

Apariencia (como se fabrica): Los dispositivos típicos que dan como resultado tratamientos observables reducidos incluyen, entre otros, las siguientes categorías:

Hay dos tipos de rellenos conductores: las fibras conductoras, que parecen triquitos muy ligeros de 2 mm a 6 mm de largo, están hechas de carbono, metales o fibras de vidrio recubiertas de material conductor; y partículas recubiertas de material conductor, que pueden verse como arena coloreada.

Las espumas de celdas pequeñas, tanto abiertas como cerradas, están pintadas o cargadas, con tintas y pinturas absorbentes. Estas espumas se parecen a láminas de gomaespuma flexibles o filtros de aire acondicionado. Pueden ser de una sola capa o notablemente de varias capas, con líneas de pegamento que separan los estratos. Un plano de tierra, si se aplica, puede consistir en una pintura metálica, una lámina metálica (papel de aluminio o plástico delgado metalizado) o tintas pulverizadas indetectables. Algunos fabricantes pueden marcar el frente de estas espumas con letras que digan "frontal" o con números de serie si el plano de tierra no es obvio. Algunas espumas pueden contener fibra compuesta para hacerlas más rígidas o incluso estructurales. Cuatro de estas espumas se muestran en la Imagen 153.

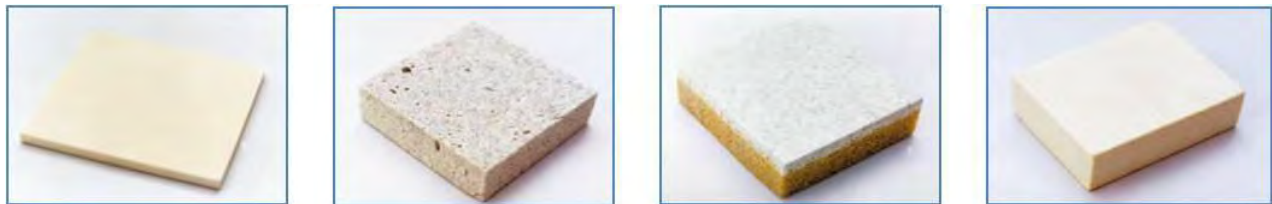


Imagen 153: Cuatro espumas de material absorbente de radar, desde la izquierda: espuma de bajo dieléctrico (epoxi); espuma ligera con pérdida (uretano); espuma ligera pulverizable (uretano); y espuma termoplástica (politerimida). (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

Las *tarjetas resistivas* (tarjetas R) consisten en una hoja de papel de fibra o plástico muy delgado (Imagen 154) cubierto con una capa continua de tinta conductora, pintura o película metálica extremadamente delgada. La resistencia eléctrica de la superficie del revestimiento puede ser constante o puede variar continuamente en una o dos direcciones. Es probable que las versiones de tinta conductora sean de gris oscuro a negro.

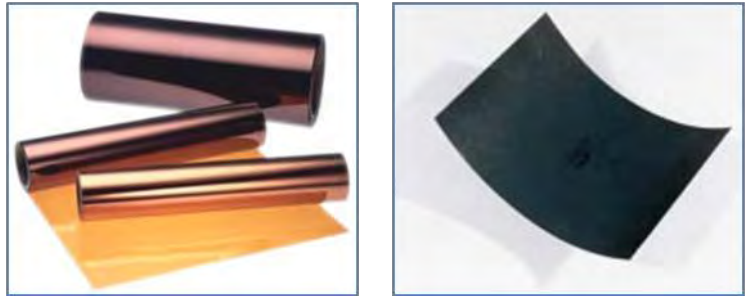


Imagen 154: La película de poliamida de Kapton (izquierda) se usa a menudo en la fabricación de tarjetas resistivas, como la de la derecha. (Crédito de imagen de la película Kapton: PSG Ltd)

Las versiones con revestimiento metálico pueden variar en color dependiendo de las características específicas de los metales utilizados y los espesores involucrados, pero los tintes negro, amarillo, verde y dorado son comunes. Las baldosas cerámicas en aerosol cargadas son revestimientos cerámicos pulverizados y cocidos muy cargados con rellenos conductores de electricidad o partículas ferromagnéticas. Es probable que varíen de color gris oscuro a negro. Dependiendo del relleno específico y el esmalte de sellado de la superficie utilizado, pueden variar desde una textura superficial lisa a abrasiva. Los revestimientos pulverizados pueden variar desde unos pocos milímetros hasta decenas de centímetros en espesor:



Imagen 155: El panal absorbente tiene una variedad de aplicaciones en defensa y aeroespacial, incluido el sigilo. (Supracor)

El panal absorbente es un compuesto liviano con celdas abiertas que normalmente tienen un diámetro de 3 mm a 12 mm y un grosor máximo de 25 mm a 150 mm. Se trata con tintas, pinturas o fibras parcialmente conductoras. El núcleo de nido de abeja puede enviarse sin cargarse, en cuyo caso puede ser indistinguible de los materiales utilizados únicamente con fines estructurales. Es probable que las tintas y pinturas conductoras para la carga posterior provengan de una fuente completamente diferente al núcleo mismo. El panal absorbente se muestra en la Imagen 155.

Apariencia (como empaquetado): Las fibras conductoras varían de 2 mm a 6 mm de longitud y generalmente se empaquetan en bolsas de plástico, viales o frascos. Su peso depende de los materiales utilizados. Las fibras enviadas antes de ser cortadas a su longitud funcional pueden estar en forma de carretes convencionales de fibras textiles o en paquetes de 1 m a 2 m de largo y 2 cm a 10 cm de diámetro.

Las espumas vienen en hojas generalmente no mayores de 1 m x 1 m, con un grosor de 6 mm a 200 mm y un peso inferior a 40 g por metro cuadrado. Están empacados en cajas de cartón.

Las tarjetas R se empaquetan en un sobre o caja con una hoja de papel no abrasivo entre cada tarjeta. Se pueden enviar cantidades mayores en rollos de 0,2 m a 1 m de largo y 15 cm de diámetro, dentro de tubos desecados o en cajas de cartón. Las baldosas cerámicas en aerosol generalmente se envuelven con burbujas y se empaquetan en cajas de cartón. El panal absorbente se envía en cajas de cartón.

17.B. Equipo de prueba y producción

17.B.1. Sistemas, especialmente diseñados para la medición de la sección transversal del radar, utilizables para los sistemas especificados en 1.A., 19.A.1. o 19.A.2. o los subsistemas especificados en 2.A.

- | | |
|---------------------|-----------|
| •Francia | •Alemania |
| •Israel | •Japón |
| •Federación Rusa | |
| •República de Corea | •Suecia |
| •Reino Unido | •Estados |

Producción global



Naturaleza y propósito: El equipo de medición de sección transversal de radar (RCS) se ha desarrollado para evaluar, adaptar y reducir el RCS de los sistemas de misiles con el fin de reducir la detectabilidad de los radares de defensa aérea. El equipo de medición RCS puede usarse en rangos interiores o exteriores. Muchos de los rangos son utilizables tanto para fines militares como comerciales. El equipo de medición RCS se puede utilizar para evaluar muestras de materiales, componentes de misiles, modelos a escala de misiles y sistemas de cohetes o UAV reales.

Método de operación: Un objeto bajo prueba, a menudo llamado objetivo, se coloca o suspende en un área de prueba con unos pocos o ningún otro objeto para minimizar las fuentes de dispersión de radar extraños.

El objetivo se ilumina repetidamente por el radar sobre un rango seleccionado de frecuencias de radar de amplitud conocida y se miden los reflejos. Se evalúan los datos resultantes y se determina la reflectividad de radar del objetivo en función de la frecuencia y el ángulo de visión.

Usos típicos relacionados con misiles: Este equipo es necesario para determinar, adaptar y reducir la firma de radar de un cohete, UAV o carga útil. Estos sistemas de medición también evalúan el rendimiento modelado por ordenador y determinan si los misiles tienen los observables reducidos y personalizados deseados. Ciertos equipos RCS se utilizan para caracterizar materiales que absorben el radar.

Otros usos: Los sistemas de medición RCS se pueden usar para determinar la firma de radar de cualquier vehículo militar aéreo, marítimo o terrestre. Las mediciones proporcionan información que ayuda a adaptar o reducir el RCS. Los rangos de medición de RCS en interiores se pueden adaptar para medir patrones de rendimiento de antenas para diversas aplicaciones comerciales, como teléfonos celulares, antenas de automóviles y antenas parabólicas.

Apariencia (como se fabrica): Los elementos básicos de un rango de prueba RCS en interiores (un ejemplo se muestra en la Imagen 156) son equipos fuente de radar, reflectores duales, dispositivos de soporte de objetivos y arcos bidireccionales.

Equipo fuente de radar: El Equipo de RF es una colección de equipos electrónicos montados en bastidor que, cuando se ensambla, ocupa el espacio de un archivador y se utiliza en todo tipo de sistemas de medición RCS.

Los convertidores arriba/abajo con bocinas de alimentación proporcionan iluminación de radar. Para proporcionar una amplia gama de frecuencias, los cuernos de alimentación cónicos varían en diámetro de 1 cm a 100 cm de ancho interno. La longitud de la bocina de alimentación es generalmente dos veces y media el ancho interno. Están forrados de metal y tienen disposiciones para unir un cable coaxial o una guía de onda en la parte trasera. En los sistemas de medición RCS, las fuentes de alimentación de radar se pueden reemplazar por una fuente de radar de un sistema de radar comercial (por ejemplo, radar marino). Los analizadores de red pueden medir la absorción y la reflexión, y se usan comúnmente comercialmente para desarrollar antenas y materiales de protección contra interferencias electromagnéticas. El cableado RF es un cableado coaxial de baja pérdida y se requiere para conectar los componentes. La longitud de estos cables varía, pero normalmente tienen un diámetro de 1 cm a 2 cm y tienen una superficie exterior de malla metálica.



Imagen 156: Un misil objetivo en el rango compacto de medición RCS de la Cámara Anecoica Bistática (BAC). (U.S. Navy)

recubiertas con material absorbente de radar. (RAM), y los hilos de los montajes superiores son métodos comunes de asistencia y suspensión de objetivos a medir. Las columnas de espuma de poliestireno pueden variar de 2 m de altura y 0,5 m de diámetro a 5 m de altura y 2 m de diámetro. Su sección transversal horizontal puede ser redonda (con o sin cono), cuadrada, triangular o en forma de diamante. Las paletas de metal, o pilones, pueden variar de 2 m a 40 m de longitud y tener 5 cm x 30 cm en la parte superior; los pilones cortos miden 50 cm x 90 cm en la parte inferior y los pilones altos miden 2 m x 8 m en la parte inferior. Tanto las columnas como los pilones de espuma de poliestireno se pueden montar en un mecanismo que los inclina hacia adelante. Las interfaces giratorias también pueden girar la columna y el objetivo de Styrofoam. Se pueden usar conjuntos de tres a cinco columnas de espuma de poliestireno montadas en un plato giratorio común para soportar y rotar un objetivo. Algunos pilones también tienen una interfaz giratoria con el objetivo en la parte superior.

Arcos bidireccionales: Otro enfoque para medir el misil RCS es usar un arco bidireccional, que puede estar hecho de madera contrachapada, fibra de vidrio o metal. Se utiliza un sistema de accionamiento de motor eléctrico para reubicar las bocinas de alimentación a lo largo del arco. El cableado personalizado vincula el arco a un ordenador de control (normalmente una PC con teclado y monitor) y los controles de alimentación. Un artículo de prueba, con su superficie perpendicular al plano definido por el arco, se coloca en el centro del arco. Los artículos son típicamente de 0,3 m a 1,0 m de lado. La referencia de calibración es una placa de metal lisa y plana del mismo tamaño que el artículo de prueba.

Reflectores duales: Los sistemas de medición Cassegrain utilizan dos platos o platos grandes de diferentes dimensiones como reflectores; pueden ser circulares, elípticas o rectangulares. Las placas pueden tener marcas de calibración en varias partes de las superficies y pueden pintarse. Los reflectores pueden ensamblarse a partir de piezas y pueden tener bordes enrollados o dentados. Para medir el RCS de un misil crucero típico, los dos reflectores tienen un grosor de 2 cm a 5 cm, y sus ejes principales tienen 4 m y 5 m de longitud. Estos reflectores crean un "punto ideal" de medición de 2 m de diámetro. Este tipo de sistema se usa casi invariablemente para mediciones en interiores. Cabe señalar que se podría diseñar un sistema de medición utilizando un solo reflector.

Dispositivos de asistencia objetivo: Estos dispositivos mantienen el objetivo alejado del suelo o del suelo y en la iluminación del radar; necesitan ser tan imperceptibles para el radar como sea posible. Columnas de espuma de poliestireno, paletas metálicas

Apariencia (como se fabrica): Los sistemas de medición RCS del túnel de transmisión/reflexión parecen grandes conductos de ventilación de aire de chapa metálica. Tienen dos bocinas de alimentación de metal coincidentes con cableado coaxial o guías de onda que conducen a la fuente de radar y a la electrónica de medición del detector. Están controlados por un ordenador que se parece a cualquier ordenador con un teclado y un monitor. Puede haber espuma absorbente de radar (normalmente de color azul medio o negro y con púas en la superficie) insertada en partes del conducto. Los sistemas interiores de iluminación directa y los sistemas exteriores de rango de rebote utilizan reflectores de radar parabólicos de forma convencional que varían en tamaño desde unos pocos centímetros hasta 10 m de diámetro.

Apariencia (como empaquetado): Los rangos de radar rara vez se envían como una sola pieza; más bien, se ensamblan en el sitio a partir de muchos componentes. No hay requisitos únicos de embalaje para este equipo más allá de los estándares de la industria para componentes electrónicos montados en bastidor y componentes de ordenadores comerciales. Algunos de los componentes (como los reflectores Cassegrain) pueden ser bastante grandes y requieren cajones especiales. Los soportes de destino de espuma de poliestireno son delicados y deben empaquetarse para evitar abolladuras.

17.C. Materiales

17.C.1. Materiales para observables reducidos, tales como reflectividad de radar, firmas ultravioleta/infrarroja y firmas acústicas (es decir, tecnología sigilosa), para aplicaciones utilizables para los sistemas especificados en 1.A. o 19.A. o los subsistemas especificados en 2.A.

Notas:

1. 17.C.1. incluye materiales estructurales y recubrimientos (incluidas pinturas), especialmente diseñados para una reflectividad o emisividad reducida o adaptada en el espectro de microondas, infrarrojos o ultravioleta.
2. 17.C.1. no somete a control los recubrimientos (incluidas las pinturas) cuando se usa especialmente para el control térmico de satélites.

Naturaleza y propósito: La necesidad de proteger los misiles balísticos y los UAV (incluidos los misiles de crucero) de la detección y destrucción ha llevado al desarrollo de tecnologías para reducir sus observables mediante el uso de materiales especiales cuidadosamente diseñados para absorber la energía del radar o proteger o enmascarar el vehículo de la energía del radar. u otros sistemas de detección que puedan estar en uso. El objetivo es hacer que el misil o UAV sea difícil de detectar.

Método de operación: Las emisiones también se reducen al mínimo mediante otras técnicas, como blindaje, enmascaramiento, dirección y amortiguación. Las emisiones y los reflejos pueden verse afectados con la ayuda de materiales cuidadosamente seleccionados aplicados a la célula. Esta reducción se logra moldeando material para emisiones controladas, reflectancia, absorción y segundas superficies (aisladores y reflectores adicionales). Estas técnicas o dispositivos ocultan la verdadera naturaleza del objeto de los dispositivos de detección o permiten que el vehículo sea detectable solo en ciertos ángulos y durante breves intervalos.

Usos típicos relacionados con misiles: La tecnología Stealth se utiliza para hacer que los misiles balísticos, los UAV (incluidos los misiles de crucero) y sus cargas útiles sean más difíciles de detectar, rastrear, identificar y atacar a los sistemas de armas defensivas. La mayoría de los elementos de diseño de un misil están sujetos a tratamiento con tecnología sigilosa, incluida su forma básica, sus componentes estructurales, sus superficies y bordes de ataque y sus entradas y aberturas.

Otros usos: La mayoría de los materiales utilizados para el control de firmas se desarrollaron originalmente para aviones militares y se encuentran en sistemas de ala fija y rotativa. Se encuentran versiones modificadas de los materiales y técnicas de tratamiento en algunos barcos, submarinos y vehículos terrestres. La tecnología de materiales de control de emisiones también se utiliza para controlar las temperaturas en los satélites. Existen usos comerciales para algunos de los materiales de bajo costo y más bajo rendimiento para reducir la interferencia electromagnética y para reducir la carga solar.

Apariencia (como se fabrica): Los materiales típicos para tratamientos de observación reducida incluyen, entre otros, las siguientes categorías:

Los aerosoles incluyen tintas o pinturas conductoras, que normalmente contienen plata, cobre, zinc, bronce u oro como ingrediente base. Aparecen en color negro, gris metálico, cobre, bronce u oro.

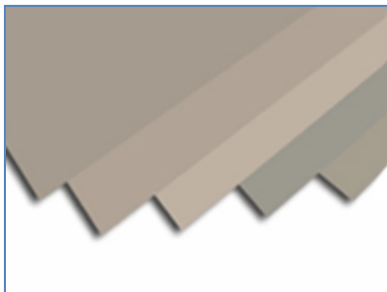


Imagen 157: Resina epoxi de ingeniería personalizada Mag RAM. (MSM Industries)

El material de absorción de radar magnético (comúnmente conocido como Mag RAM) tal como se aplica a los vehículos, puede aparecer en formas tales como revestimientos de superficies, bordes moldeados o rellenos de huecos. Se compone de partículas ferromagnéticas o de ferrita de grano muy fino suspendidas en una variedad de aglomerantes de goma, pintura o resina plástica. Se puede aplicar como aerosoles, láminas, piezas moldeadas o mecanizadas, o masillas. Debido a los colores generales de los aglutinantes típicos y las partículas ferromagnéticas, los colores naturales de Mag RAM varían de gris claro o marrón a casi negro (Imagen 157); sin embargo, con la adición de pigmentos adicionales por otras razones (por ejemplo, camuflaje visual o codificación de ayuda de fabricación/mantenimiento), es posible casi cualquier color.

Las películas delgadas de plástico o material de papel pueden cubrir uno o ambos lados de las hojas para la codificación de identificación o para mantener la limpieza de la superficie previa a la aplicación. El grosor de la lámina puede variar de menos de un milímetro a varios centímetros. Es probable que la densidad del material oscile entre 50 % y 75 % de hierro sólido.

El material absorbente de radar transparente (T-RAM) se parece a una lámina de policarbonato. Normalmente es del 75 % al 85 % transparente en el espectro visible. Los materiales absorbentes pueden variar desde fibras o esferas esparcidas por todo el material hasta revestimientos delgados, que se ven como un tinte metálico amarillo/verde en las ventanas.

Los tratamientos con infrarrojos (IR) generalmente consisten en pinturas y revestimientos. A menudo, estos revestimientos se personalizan para adaptar la reflectancia y/o la radiación de la energía IR. Debido al amplio espectro (longitud de onda de 0,8 micras a 14,0 micras) de la energía de IR y la variedad de aplicaciones, los revestimientos de IR pueden ser reflectantes (baja emisividad) o diseñados para absorber (alta emisividad). Los revestimientos utilizados para el tratamiento con IR incluyen pinturas militares especialmente diseñadas en colores de camuflaje o pinturas comerciales diseñadas para reflejar el calor solar. Algunos de estos productos tienen un notable contenido de metal en la pintura/aglutinante debido a los pigmentos IR utilizados.

Otros están diseñados para tener una alta emisividad y, como tal, contienen pigmentos que absorben IR. Estos revestimientos de alta emisividad contienen pigmentos a base de carbón u otros altamente emisivos a base de partículas (normalmente casi negros). En cualquier caso, estos pigmentos IR a veces se envían por separado de la pintura/aglutinante.

Apariencia (como empaquetado): Las pinturas y tintas en aerosol generalmente se envían en latas de tamaño estándar. Las latas pueden estar en cajas que contienen desecantes, o los pigmentos y aglutinantes pueden enviarse por separado. Los pigmentos se envían en frascos, bolsas de plástico o latas, y las carpetas se envían en latas o tambores. La mayoría son materiales altamente tóxicos o cáusticos hasta su aplicación y curado.

Mag RAM puede enviarse en láminas, lodos no curados y piezas terminadas, o en forma de materia prima (partículas, aglutinante y activador de polimerización, todos enviados por separado). Las partículas probablemente se enviarían en forma de polvo muy fino o fibra corta, pero posiblemente también sumergido en un fluido hidrófobo para evitar la oxidación. Se puede enviar en hojas de hasta unos pocos metros de largo y ancho. El grosor de la lámina puede variar desde menos de un milímetro hasta decenas de centímetros. Se puede enviar varias capas de profundidad en palets planos o como una hoja enrollada dentro de un tubo de cartón. Si se envía como piezas formadas, puede ser en cajas rectangulares de cartón o de madera de hasta 0,1 m x 0,1 m x 2,0 m o 20 cm x 20 cm x 20 cm.

T-RAM se empaqueta como una hoja de policarbonato o como una ventana o parte de dosel. Puede tener un papel protector adhesivo aplicado al exterior. Si se envían en piezas más pequeñas, se empaquetarán.

Las pinturas y revestimientos térmicos IR generalmente se empaquetan en latas como cualquier producto de pintura. Los pigmentos de pintura IR se pueden envasar en latas, viales o bolsas de plástico.

17.D. Programas informáticos

17.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñado para el análisis de observables reducidas tales como la reflectividad al radar, las firmas ultravioletas/infrarrojas y las firmas acústicas (es decir, la tecnología sigilosa), para aplicaciones utilizables para los sistemas especificados en 1.A. o 19.A. o los subsistemas especificados en 2.A.

Nota:

17.D.1. incluye "programas informáticos" especialmente diseñados para el análisis de reducción de firma.

Naturaleza y propósito: El diseño y la producción de materiales y sistemas con reducción de firma normalmente requieren programa informático y bases de datos para analizar estos materiales y sistemas. Se controlan el programa informático y las bases de datos especialmente diseñados para el análisis de reducción de firmas. Estas bases de datos y programa informático incluirán datos o funciones esenciales para el análisis de la capacidad de reducción de firma de sistemas y materiales.

- Francia
- Israel
- Japón
- Rep. de Corea
- Reino Unido
- EE. UU
- Alemania
- Italia
- Federación Rusa
- Suecia



Método de operación: Las emisiones y los reflejos pueden tomar muchas formas, como acústica, radiofrecuencia (por ejemplo, radar), luz visible o energía infrarroja. El programa informático se puede utilizar para modelar matemáticamente estos efectos físicos en función de la forma de un objeto y sus propiedades de superficie. Los materiales de construcción, incluidos los revestimientos, afectan las propiedades de la superficie. El programa informático controlado y/o las bases de datos contienen información o metodologías especialmente diseñadas para el análisis de emisiones y reflectancia (firmas). El programa informático y las bases de datos se pueden usar para analizar sistemas de desarrollo o existentes para determinar la efectividad de los materiales y dispositivos incorporados, así como para determinar qué áreas necesitan mejoras.

Usos típicos relacionados con misiles: Estos elementos se utilizan para analizar la forma y los materiales de la célula para aplicaciones en misiles balísticos y UAV (incluidos los misiles de crucero), con el fin de seleccionar tratamientos reductores característicos o identificar puntos críticos (áreas potenciales para mejorar). Del mismo modo, estos elementos se pueden usar para evaluar la firma de los sistemas, cuantificar el rendimiento de los diseños y las elecciones de materiales en los sistemas, y evaluar las áreas de mejora.

Otros usos: El mismo programa informático o elementos de bases de datos similares pueden usarse para analizar y diseñar para la reducción de firmas en muchos artículos militares, incluidos vehículos terrestres, aviones tripulados y barcos. El programa informático destinado a modelar tipos similares de efectos físicos puede utilizarse para el análisis de sistemas de gestión de energía para satélites y edificios, en particular las emisiones infrarrojas relacionadas con los controles térmicos. Los detectores pasivos y activos utilizados para los sistemas de alarma de seguridad y los sistemas autónomos, como los automóviles sin conductor, también pueden requerir un análisis utilizando un programa informático y bases de datos similares.

Apariencia (como se fabrica): El programa informático para las herramientas de diseño de reducción de firma se puede empaquetar en disquetes, cintas, unidades flash USB y discos compactos. Alternativamente, se puede usar una red informática para distribuir programa informático y su documentación electrónicamente.

Apariencia (como empaquetado): Históricamente, el programa informático en disquetes, cintas, unidades flash USB y discos compactos se ha empaquetado en cualquiera de una amplia variedad de paquetes, bolsas, sobres o cajas. El programa informático también puede estar lleno de equipo informático relacionado. En el siglo XXI, es muy probable que el programa informático se transfiera directamente a través de Internet.

Información adicional El análisis en aras de observables reducidos es más una actividad de nicho que otros tipos de análisis, como elementos finitos (estructuras) y flujo de fluidos (aerodinámica, etc.). En ausencia de usos finales no militares generalizados, es menos probable que el programa informático para observables reducidos se anuncie y venda comercialmente.

Cada espectro o porción del mismo puede tener su propio programa informático de diseño específico. Muchos países y contratistas de defensa han desarrollado códigos informáticos para el análisis de una, dos o tres dimensiones y la optimización del diseño. En el espectro de radiofrecuencia (RF)/radar, cualquier código que pueda modelar antenas o radomos puede modificarse y usarse como una herramienta de sección transversal de radar. Como regla general, cualquier nombre de código de programa informático que incluya las letras SIG, RF o RCS, debe considerarse como código RCS sospechoso. Los códigos que se ejecutan en ordenadores personales pueden proporcionar una guía de diseño útil. Cuando los materiales exóticos y las formas complejas entran en juego, los superordenadores y los códigos especialmente diseñados se vuelven particularmente valiosos.

Los elementos clave de los códigos de diseño RCS implican la capacidad de definir un perfil de superficie del vehículo dentro de un margen adecuado (que puede ser tan pequeño como $1/20$ de una longitud de onda de la frecuencia más alta de interés); la capacidad de representar elementos muy pequeños de la superficie como vectores; y la capacidad de calcular las matemáticas asociadas con la permeabilidad magnética y la permitividad eléctrica. Estos Artículos indican el valor de códigos de propósito general y máquinas capaces de invertir y manipular rápidamente matrices de números muy grandes.

Los códigos térmicos IR especializados para observables reducidos pueden estar menos disponibles o maduros, pero hay códigos comerciales disponibles que pueden usarse o modificarse para aplicaciones militares. Estos códigos incluyen los utilizados para el control de calidad térmica. Al igual que en RF, un código capaz de representar vectores del tamaño y la orientación de los elementos de la superficie es un punto de partida crítico. Los códigos que estiman la transmisión atmosférica de la radiación IR a diferentes altitudes, estaciones y tipos de entornos gaseosos se utilizan en el proceso de diseño. Los códigos útiles para determinar la transferencia de calor en las aeronaves son esenciales para determinar las temperaturas de la superficie y los flujos de calor resultantes de la operación de motores y otros subsistemas internos. Los códigos para determinar la temperatura del penacho a partir del volumen de productos de combustión que pasan a través del tubo de escape y se expanden y disipan en la atmósfera están típicamente involucrados. El modelado de plumas, que se puede realizar para los gases de escape de la propulsión de un cohete o de la propulsión que respira aire, a menudo implica códigos de la plataforma del motor, pero va más allá de su uso para determinar el rendimiento de la propulsión. Los códigos que usan la emisividad del material y los coeficientes de reflexión bidireccional de los materiales como entradas pueden indicar su uso potencial en el diseño de control de firma IR.

17.E. Tecnología

17.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 17.A., 17.B., 17.C. o 17.D.

Nota:

17.E.1. incluye bases de datos especialmente diseñadas para el análisis de reducción de firmas.

Naturaleza y propósito: La tecnología Stealth es una ciencia relativamente nueva y no está muy extendida. La tecnología, como se usa en esta sección, es la provisión de ayuda o asistencia significativa a un país dedicado a desarrollar los medios para reducir las firmas de los UAV (incluidos los misiles de crucero) y posiblemente los misiles balísticos. Como se usa en esta sección, la transferencia de revestimientos especiales como T-RAM, Mag RAM, fibras conductoras u otros materiales poco observables obviamente serían transferencias críticas, como lo sería transferir la tecnología para producir dichos materiales. Proporcionar a un país la tecnología para producir el equipo de prueba RCS o la información necesaria para construir un rango de prueba RCS sería una transferencia de información técnica controlada.

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 tecnología poco observable, 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 una habilidad de producción particular. Un país también puede recibir asistencia técnica con la adquisición de equipos técnicos, máquinas o materiales, o en la identificación de empresas y materiales para adquirir. 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.

Usos típicos relacionados con misiles: Con excepciones limitadas, la asistencia técnica requerida para construir equipos de producción de material sigiloso e instalaciones de prueba se utilizan solo para esos fines.

Otros usos: N/C

Apariencia (como se fabrica): N/C

Apariencia (como empaquetado): N/C

Categoría II - Artículo 18
Protección contra efectos
nucleares

Categoría II - Artículo 18: Protección contra efectos nucleares

18.A. Equipos, ensamblajes y componentes

18.A.1. "Microcircuitos" "resistentes a la radiación" utilizables en la protección de sistemas completos de cohetes y sistemas de vehículos aéreos no tripulados (por ejemplo, impulso electromagnético (EMP), rayos X, explosión combinada y efectos térmicos), y utilizable para los sistemas especificados en 1.A.

- Francia
- Japón
- Suecia
- Estados Unidos
- Israel
- Federación de Rusia
- Reino Unido

Producción
global



Naturaleza y propósito: Los entornos espaciales y subespaciales requieren tecnologías especializadas que reducen los riesgos de exposición a la radiación ionizante de partículas energéticas y rayos X. La radiación ionizante causa dos mecanismos de daño crítico en los microcircuitos y puede afectar su capacidad para funcionar correctamente. Un efecto acumulativo de la radiación, conocido como Dosis Ionizante Total (TID), se relaciona con la acumulación de una carga eléctrica permanente en un circuito, que interrumpe su capacidad de respuesta o hace que falle por completo. La escala de esta acumulación depende de la medida en que el circuito esté expuesto a la radiación. El segundo efecto, debido a la carga depositada por una sola partícula ionizante, se conoce como efecto de evento único (SEE). Algunos SEE

como Transitorios de evento único (SET) y Trastorno de evento único (SEU) son temporales y se pueden recuperar. Otros, como el enganche de un solo evento (SEL) provocan daños permanentes. La sensibilidad de un dispositivo a los SEE depende de la rapidez con que se envía la radiación al circuito (el número de eventos/partículas por cm²). Una forma de proteger los circuitos de tales efectos es hacerlos intrínsecamente resistentes a TID y SEE, un proceso conocido como "resistencia".

Método de operación: Los microcircuitos endurecidos (Imagen 158) son similares en operación y apariencia a los microcircuitos normales. Las estrategias de mitigación para reducir los efectos de TID y SSE se conocen como técnicas de resistencia a la radiación por proceso (RHBP) y de resistencia a la radiación por diseño (RHBD). La RHBP se puede lograr modificando los perfiles de dopaje en dispositivos y sustratos y optimizando los procesos de deposición para aisladores. Las técnicas de RHBD incluyen redundancia de registros, redundancia de nivel de enganche, o retroalimentación de puerta lógica y otros circuitos de diseño.



Imagen 158: Un circuito integrado específico de aplicación endurecido por radiación (ASIC) diseñado para aplicaciones de alta confiabilidad y radiación intensa. (Aeroflex)

Los dispositivos diseñados y producidos con estas estrategias de mitigación aumentan enormemente el costo de un microcircuito reforzado y también tienden a reducir las tasas de operación digital.

Usos típicos relacionados con misiles: Los microcircuitos resistentes por radiación utilizados en misiles balísticos están diseñados para operar en un entorno nuclear. Los vehículos aéreos no tripulados (UAV), que no sean algunos misiles de crucero, generalmente no están protegidos de la radiación ionizante porque no se ha considerado su capacidad de supervivencia.

Otros usos: Los dispositivos endurecidos por radiación se usan en naves espaciales para misiones de larga duración que incluyen equipos de telecomunicaciones, satélites meteorológicos científicos, sondas espaciales y planetarias. Los microcircuitos resistentes basados en tierra también se utilizan en entornos de alta radiación, como seguridad, instrumentación, control, detectores y robótica para reactores nucleares y aceleradores de partículas físicas de alta energía.

Apariencia (como se fabrica): Los dispositivos de componentes electrónicos endurecidos y sus ensamblajes se montan típicamente en paquetes de metal o cerámica sellados herméticamente con dispositivos montados en la superficie comunes en ensamblajes de alta densidad (Imagen 159). Parecen dispositivos comerciales, pero pueden tener números de parte que los identifican como endurecidos.

Apariencia (como empaquetado): Los ensamblajes y componentes electrónicos generalmente se envían en bolsas de plástico marcadas para designar un dispositivo sensible a la electrostática. Están acolchados en espuma de goma o plástico de burbujas para protección contra golpes y embalados dentro de cajas de cartón.

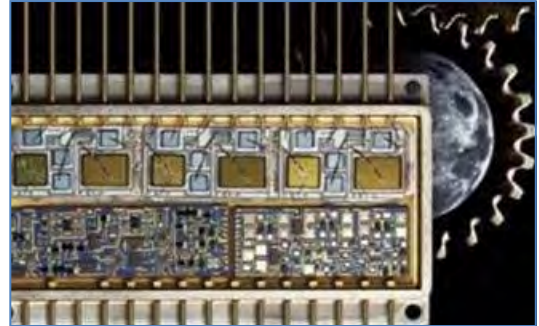


Imagen 159: Un controlador de motor endurecido por radiación diseñado para aplicaciones militares y aeroespaciales intensas en radiación. (Aeroflex)

18.A.2. 'Detectores' especialmente diseñados o modificados para proteger los sistemas de cohetes y vehículos aéreos no tripulados contra los efectos nucleares (por ejemplo, impulso electromagnético (EMP), rayos X, explosión combinada y efectos térmicos), y utilizables para los sistemas especificados en 1.A.

Nota técnica:

Un 'detector' se define como un dispositivo mecánico, eléctrico, óptico o químico que automáticamente identifica y registra o almacena un estímulo, tal como un cambio ambiental de presión o temperatura, una señal eléctrica o electromagnética o la radiación de un material radiactivo. Esto incluye los dispositivos que detectan mediante una sola reacción de funcionamiento o de fallo.

Naturaleza y propósito: Como se señaló anteriormente, un mecanismo para proteger los circuitos en entornos operativos intensos nucleares e intensos es hacer que los microcircuitos sean intrínsecamente resistentes a la dosis total de radiación ionizante. Otra técnica es usar detectores de radiación capaces de detectar las tasas de dosis de radiación en estos entornos, y/o reconocer y registrar los cambios ambientales resultantes de los eventos nucleares. Posteriormente, estos detectores apagan la alimentación del circuito o activan dispositivos de protección que responden a estas condiciones.

Método de operación Los detectores de radiación son dispositivos relativamente simples que detectan un aumento en la corriente causada por la radiación. Si el nivel de radiación alcanza y supera un umbral crítico, los detectores emiten una señal de control a los circuitos de protección. El mecanismo de protección desvía las corrientes de los dispositivos sensibles o apaga el equipo para evitar el agotamiento. Los detectores generalmente tienen una entrada de prueba para activar el detector durante las actividades de construcción o mantenimiento para verificar la operación. Por lo general, deben ser capaces de resistir los efectos de la radiación (por ejemplo, deben ser reutilizables) y deben tener la capacidad de emitir comandos de protección inmediatamente antes de que se produzcan daños en los microcircuitos.

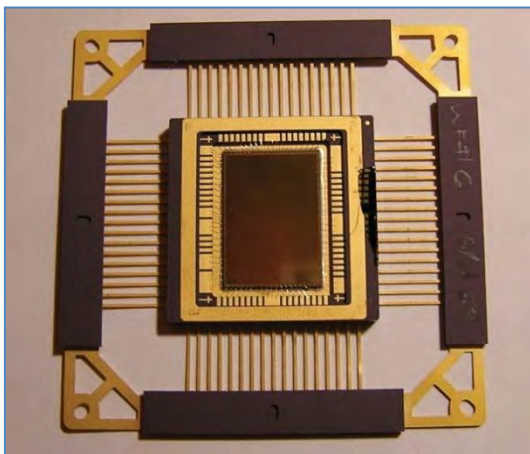


Imagen 160: Un detector resistente a la radiación. (Fuerza aérea de los EE. UU.)

Usos típicos relacionados con misiles: Al igual que con los microcircuitos endurecidos, los detectores de radiación se utilizan en vehículos de lanzamiento espacial y misiles balísticos destinados a operar en el espacio nuclear intenso y los entornos subespaciales. Por lo general, no es necesario proteger los vehículos aéreos no tripulados (UAV) de la radiación ionizante, ya que generalmente son más vulnerables a la sobrepresión de explosión, lo que impactaría un sistema de UAV a mayores distancias de una explosión nuclear que la radiación.

Otros usos: Los detectores de radiación se utilizan en las mismas aplicaciones de alta fiabilidad y entornos de intensidad nuclear que los microcircuitos resistentes. Estos incluyen misiones militares, de telecomunicaciones y científicas de larga duración.

También son componentes electrónicos fundamentales en satélites meteorológicos, estaciones espaciales y sondas planetarias. Los detectores también se utilizan en aplicaciones de seguridad de reactores nucleares; instrumentación, control y sistemas robóticos.

Apariencia (como se fabrica): Los circuitos detectores de radiación pueden consumir aproximadamente una docena de centímetros cuadrados de espacio en la placa de circuito. Alternativamente, el detector puede ser un microcircuito único con componentes externos seleccionados como se muestra en la Imagen 160.

Apariencia (como empaquetado): Los ensamblajes y componentes electrónicos generalmente se envían en bolsas de plástico marcadas para designar un dispositivo sensible a la electrostática. Están acolchados en espuma de goma o plástico de burbujas para protección contra golpes y embalados dentro de cajas de cartón.

18.A.3. Radomos diseñados para resistir un choque térmico combinado mayor de $4,184 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ acompañado de un pico de sobrepresión de más de 50 kPa, utilizable en la protección de sistemas de cohetes y vehículos aéreos no tripulados contra efectos nucleares (por ejemplo, Pulso electromagnético (EMP), X- rayos, explosión combinada y efectos térmicos), y utilizable para los sistemas especificados en 1.A.

- Federación Rusa
- Estados Unidos
- Reino Unido

Producción global



Naturaleza y propósito: Los radomos son estructuras de carcasa no metálicas que protegen las antenas del medio ambiente al tiempo que permiten la transmisión de señales de radiofrecuencia con una mínima pérdida de señal y distorsión. Por lo general, están hechos de un material aislante. Muchas instalaciones en tierra usan radomos y las puntas de ojiva de los aviones de pasajeros son radomos. Solo los radomos especializados se controlan en el Artículo 18.A.3 del MTCR, es decir, aquellos destinados a un entorno de efectos nucleares, a veces, pero no siempre diseñados

para vuelos de alta velocidad. Los radomos controlados generalmente están hechos de materiales especiales como cerámica o silicio fenólico. Los criterios descritos en el punto 18.A.3. limite el control a los radomos destinados a sobrevivir en un ambiente severo de calor y presión.

Método de operación: Los materiales de radomo se seleccionan por su fuerza y transparencia de señal en las bandas de frecuencia de interés en todo el rango de temperatura esperado. Los radomos de vuelo generalmente están diseñados para mejorar el rendimiento aerodinámico del vehículo y para evitar perturbaciones indebidas de la señal por efectos prismáticos o de lentes. Los radomos diseñados correctamente permiten que la antena cerrada transmita y reciba señales a través del radomo con distorsiones mínimas.

Usos típicos relacionados con misiles: Los entornos nucleares previstos en el Artículo 18 limitan los usos relacionados con los misiles de estos radomos a algunos misiles de crucero y a los vehículos de reentrada (RV) transportados por misiles balísticos de corto a intermedio alcance. Un uso de tales radomos es proteger a los buscadores de guiado instalados en la ojiva de los RV mientras guían los RV hacia sus objetivos. Los misiles de mayor alcance vuelven a entrar en la atmósfera demasiado rápido para que los radomos montados en la ojiva sobrevivan. Para estos RV, los radomos (ventanas) pueden ubicarse más atrás en el cuerpo del RV. Los radomos controlados por MTCR generalmente no son de interés para los sistemas UAV que no sean misiles de crucero porque la mayoría de los UAV no pueden sobrevivir a los efectos nucleares especificados. Ciertas instalaciones en tierra pueden usar radomos controlados si es deseable que se endurezcan a los efectos nucleares especificados.

Por ejemplo, radomos sin vuelo que cumplen los criterios del punto 18.A.3. podría usarse para proteger antenas en silos de misiles o puestos de comando diseñados para sobrevivir al ataque nuclear.



Imagen 161: Izquierda: una selección de radomos aerodinámicos (Northrop Grumman). Derecha: radomos similares a los que podrían usarse para proteger a los buscadores de RV en la reentrada. (American Technology & Research Industries)

Otros usos: Los radomos diseñados para la supervivencia nuclear tienen pocos (si los hay) usos comerciales

Apariencia (como se fabrica): Los radomos utilizados para proteger los sensores montados en la nariz en vehículos recreativos o misiles tienen forma cónica u ojiva, como se muestra en la Imagen 161. Su tamaño varía según el tamaño del RV o misil al que están unidos, y puede ser tan pequeño como 30 cm, y tan grande como 2 m o más de diámetro y longitud. Los materiales son básicamente dieléctricos en laminados sólidos o espuma intercalada formada como un solo radomo moldeado de una sola pieza. Se puede usar un radomo de pared delgada, marco de espacio dieléctrico (DSF), generalmente de 0,1 cm o menos de grosor, para antenas pequeñas. Un radomo DSF de pared laminada sólida típicamente tiene un espesor de 0,25 cm. Para los radomos DSF sándwich de dos capas, se agrega una capa de espuma al interior del radomo de pared delgada. El grosor de la espuma se elige principalmente para el aislamiento térmico y la resistencia a cargas de choque térmico de 100 cal por cm² (la misma energía por área que 4,184 x 10⁶ J/m² en el lenguaje de control). Un radomo de pared compuesto de núcleo de espuma es el diseño más costoso y proporciona la resistencia para soportar cargas de sobrepresión máximas superiores a 50 kPa (aproximadamente un 50 % por encima de la presión atmosférica). Una pared de núcleo de espuma intercalada tiene un cuarto de longitud de onda de grosor para la señal de radiofrecuencia más alta.

Apariencia (como empaquetado): Los radomos se envían en cajones de madera que tienen tirantes de contorno dentro de ellos para soportar su estructura de pared delgada. Los radomos tienen marcos de cierre montados en sus bridas de popa para mantener la rigidez estructural en tránsito y están envueltos en bolsas de polietileno. Los cajones pueden usar mamparos de madera formados para arriostrar contornos o espuma de poliuretano para soportar el radomo.

18.B. Equipo de prueba y producción

Ninguno.

18.C. Materiales

Ninguno.

18.D. Programas informáticos

Ninguno.

18.E. Tecnología

18.E.1. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos especificados en 18.A.

Naturaleza y propósito: La "tecnología" de protección de efectos nucleares es el conocimiento o los datos necesarios para aumentar la capacidad de supervivencia de los sistemas electrónicos en sistemas de misiles en entornos nucleares mientras se dirigen a un objetivo o cuando pueden estar expuestos a estos entornos mientras están almacenados.

Método de operación: La "tecnología" de protección de los efectos nucleares está disponible en muchas formas. La "asistencia técnica" puede consistir en la instrucción proporcionada por una persona u organizaciones con experiencia en el desarrollo de microcircuitos resistentes a la radiación o detectores de eventos nucleares (rayos X, EMP, efectos térmicos) adecuados para misiles balísticos y que actúan como formadores en un aula en o cerca del sitio de desarrollo o producción. Un país puede recibir "asistencia técnica" de una o más entidades extranjeras que posean las instalaciones de diseño y desarrollo necesarias para proporcionar experiencia práctica para desarrollar u operar la tecnología deseada. Un país también puede recibir asistencia de adquisición en forma de ayuda para obtener el equipo, maquinaria y materiales u orientación sobre qué artículos deben adquirirse. Todos los manuales y materiales recibidos durante la capacitación pueden calificar como "datos técnicos".

Usos típicos relacionados con misiles: La "tecnología" incluida en esta sección se utiliza para proteger los componentes electrónicos dentro de un misil balístico de los efectos de la radiación de la detonación nuclear.

Otros usos: La "tecnología" de protección de efectos nucleares se utiliza en otras industrias que se especializan en equipos nucleares resistentes. Los microcircuitos resistentes basados en tierra se encuentran en entornos de alta radiación, como seguridad, instrumentación, control, detectores y robótica para reactores nucleares y aceleradores de partículas físicas de alta energía.

Apariencia (como se fabrica): N/C.

Apariencia (como empaquetado): N/C.

Categoría II - Artículo 19
Otros sistemas de
entrega completos

Categoría II - Artículo 19: Otros sistemas de entrega completos

19.A. Equipos, ensamblajes y componentes

19.A.1. Sistemas completos de cohetes (incluidos misiles balísticos, vehículos de lanzamiento espacial y cohetes sonoros), no especificados en 1.A.1., Capaces de un "alcance" igual o superior a 300 km.

- | | |
|---------------------|------------|
| •Australia | •Brasil |
| •Bulgaria | •China |
| •Republica checa | •Egipto |
| •Francia | •Alemania |
| •India | •Irán |
| •Israel | •Italia |
| •Japón | •Libia |
| •Corea del Norte | •Pakistán |
| •Nueva Zelanda | •Sudáfrica |
| •Federación Rusa | •España |
| •República de Corea | •Estados |
| •Reino Unido | |

Producción global



Naturaleza y propósito: Los sistemas completos de cohetes capturados bajo 19.A.1. son similares en la mayoría de los aspectos a los cubiertos por 1.A.1.; sin embargo, la ausencia de un requisito de tener una capacidad de carga de 500 kg o más significa que estos sistemas pueden ser mucho más pequeños en tamaño que los de 1.A.1.

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.

Estos sistemas están controlados por MTCR debido a su idoneidad para entregar armas químicas y biológicas, que no están limitadas a pesos mínimos sustanciales como las armas nucleares son por masa crítica.

Método de operación Estos sistemas operan exactamente de la misma manera que los sistemas de cohetes más grandes y generalmente consisten en los cuatro elementos básicos (una carga útil o cabeza de guerra, un subsistema de propulsión, un subsistema de guiado y control y una estructura general). Los misiles balísticos en esta categoría tienen las mismas características operativas que los elementos más grandes detallados en 1.A.1. Ambas categorías pueden tener una o más etapas y pueden usar propulsores sólidos o líquidos o un híbrido de los dos. En comparación con su mayor 1.A.1. contrapartes, misiles controlados por 19.A.1. son más propensos a ser lanzados desde aviones. El último método de lanzamiento se produce a gran altitud para reducir el arrastre atmosférico, que se vuelve más significativo a medida que los misiles y SLV se hacen más pequeños.

Usos típicos relacionados con misiles: Los misiles balísticos se utilizan para entregar una carga útil de armas a un objetivo definido. Las posibles cargas útiles de baja masa incluyen armas químicas y biológicas. Muchos misiles existentes no alcanzan la capacidad de alcance de 300 km para cargas útiles que exceden los 500 kg (por lo tanto, no están controlados por el Artículo 1.A.1), pero muy a menudo los misiles de esta clase pueden ser rediseñados para enviar cargas útiles más pequeñas (< 500 kg) a distancias superiores a 300 km.

Esto muestra la importancia de tener en cuenta la capacidad de intercambiar la carga útil y el rango al evaluar los sistemas cubiertos por este Artículo.

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. A partir de la década de 1950, se utilizaron cohetes sonoros para recopilar datos científicos en la atmósfera superior. En el siglo XXI, ha habido un renovado interés en enviar pequeñas cargas de ciencia en trayectorias suborbitales, con el fin de obtener múltiples minutos de caída libre (exposición a microgravedad). Del mismo modo, ha habido un renovado interés en los pequeños vehículos de lanzamiento espacial (SLV) para entregar pequeños satélites en órbita. A partir de alrededor de 2017, múltiples empresas comerciales privadas en todo el mundo han tratado de desarrollar SLV más pequeños, con la expectativa de que habrá clientes para lanzamientos dedicados para pequeñas cargas útiles como cubesats (< 10 kg), por ejemplo.

Otros usos: N/C

Apariencia (como se fabrica): Los sistemas completos de cohetes en esta categoría son muy similares en apariencia a los de 1.A.1., pero a menor escala. Son cilindros grandes, largos y estrechos que, cuando se ensamblan, suelen tener unas dimensiones de unos 5 m de longitud, 0,5 m de diámetro y un peso de 1500 kg con una carga completa de propulsante. La Imagen 162 proporciona un ejemplo representativo de un cohete sonoro cubierto por 19.A.1. Los misiles cubiertos bajo este criterio de control pueden tener múltiples etapas o solo una etapa. Son relativamente pesados cuando se usan propulsores sólidos o livianos cuando no se alimentan si están diseñados para propulsores líquidos.



Imagen 162: Un gran cohete sonda de Categoría II, capaz de entregar una carga útil de 250 kg a un alcance de 400 km. El sólido motor propulsante del cohete, con carcasa de acero, está rodeado por cuatro aletas traseras de panel con bordes de ataque de aleación de titanio. (JAXA)

Apariencia (como empaquetado): Los componentes principales de los sistemas de cohetes a menudo se envían en cajones o contenedores de metal sellados a una instalación de ensamblaje cerca de la ubicación de lanzamiento, donde se ensamblan y se prueban para determinar su disponibilidad operativa. Sin embargo, es más probable que los vehículos de lanzamiento más pequeños se envíen completamente ensamblados que los grandes. Un ejemplo específico es el de los misiles balísticos móviles, que pueden ensamblarse completamente y almacenarse en posición horizontal en un transportador-erector-lanzador móvil (TEL) y moverse al punto de lanzamiento cuando sea necesario. Pequeños misiles y SLV pueden ser transportados por avión y/o lanzados desde un avión.

19.A.2. Sistemas completos de vehículos aéreos no tripulados (incluidos misiles de crucero, drones objetivo y drones de reconocimiento), no especificados en 1.A.2., Capaces de un "alcance" igual o mayor a 300 km.

Naturaleza y propósito: Los sistemas de UAV cubiertos por el Artículo 19.A.2. son mucho más diversos en naturaleza que los del Artículo 1.A.2. debido a la ausencia de un requisito de capacidad de carga útil de 500 kg. En consecuencia, esta categoría de vehículos aéreos no tripulados incluye una serie de vehículos aéreos no tripulados de resistencia de largo alcance más pequeños y de resistencia media de altitud larga (MALE) que tienen pesos de despegue máximos mucho más bajos (que oscilan entre menos de 50 kg y 1500 kg) que la resistencia de alta altitud larga de gran altitud (HALE) que cumplen los criterios de 1.A.2.

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. Estos sistemas están controlados por MTCR debido a su idoneidad para entregar armas químicas y biológicas, que no están limitadas a pesos mínimos sustanciales como las armas nucleares son por masa crítica.

Al igual que con los sistemas UAV MTCR de categoría I más grandes, los UAV cubiertos por 19.A.2. son vehículos que respiran aire impulsados por pequeños motores de turbina o pistón que impulsan hélices libres o con conductos. Los UAV MALE, de largo alcance y resistencia tienen altitudes operativas típicas de entre 5000 m y 8000 m, y una resistencia máxima de entre 12 y 48 h.

Los misiles de crucero se distinguen de la mayoría de los otros UAV por su uso como plataformas de entrega de armas y por trayectorias de vuelo que a menudo minimizan su vulnerabilidad a las defensas. Además, los misiles de crucero no tienen ningún medio de recuperación diseñado (por ejemplo, tren de aterrizaje, paracaídas, etc.). Los misiles de crucero pueden volar a casi cualquier velocidad, pero generalmente son propulsados por pequeños motores a reacción que operan típicamente a altas velocidades subsónicas (menos de 900 km/h). Un misil de crucero antibuque de Categoría II se muestra en la Imagen 163.

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 163: Un misil de crucero antibuque de Categoría II. (Manual de equipo, programas informáticos y tecnología del MTCR, tercera edición (mayo de 2005))

Los misiles de crucero en esta categoría funcionan exactamente como los detallados en 1.A.2.: la mayoría contiene 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 los sistemas de navegación inercial, actualizados por los receptores del Sistema Global de Satélites de Navegación (GNSS) además de, o en lugar de, los sistemas de navegación asistidos por el terreno para guiarlos a la vecindad del objetivo. Estos misiles se pueden lanzar desde un transportador-erector-lanzador (TEL), así como desde barcos, submarinos o aviones.

Al igual que con otros UAV descritos en 1.A.2., aquellos sistemas cubiertos por 19.A.2. por lo general están equipados con varios tipos de cargas útiles, incluidos equipos de sensores, contienen enlaces de aviónica y de datos, y están respaldados por un componente de control de tierra. 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). Una de las diferencias clave entre estos UAV de Categoría II y los UAV de Categoría I más grandes es que su gama más amplia de tamaños y pesos más ligeros permite una gama igualmente amplia de opciones de lanzamiento. Muchos UAV MALE se lanzan y se recuperan a través del despegue y aterrizaje con ruedas convencionales, mientras que varios UAV más pequeños se pueden lanzar usando catapultas neumáticas o elásticas (Imagen 164) y refuerzos. Muchos de estos pequeños sistemas también pueden ser portátiles.

Usos típicos relacionados con misiles: Los UAV descritos en este artículo son capaces de entregar una carga útil de menos de 500 kg en un rango igual o superior a 300 km.

Otros usos: Las cargas útiles pueden incluir sistemas de misiones múltiples, incluidos equipos de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR) y armas convencionales. Los UAV más pequeños tienen más probabilidades de ser utilizados exclusivamente para misiones ISR e investigación científica.

Apariencia (como se fabrica): Los sistemas UAV completos controlados bajo este elemento se caracterizan por una amplia variedad de formas y características. Es más común que la aeronave tenga una propulsión de ala fija y respiración de aire. Las nuevas versiones de aviones no tripulados de ala giratoria están diseñadas para alcanzar rangos más allá de 300 km.

Los sistemas de vehículos aéreos no tripulados construidos específicamente exhiben una forma cónica, a veces con un área bulbosa cerca del extremo frontal o la ojiva del fuselaje. 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. UAV más grandes cubiertos por 19.A.2. tienen varias características en común con las de 1.A.2., que pueden incluir alas con grandes luces montadas en el medio del fuselaje, fuselajes cilíndricos con protuberancias pronunciadas o cúpulas sobre la ojiva, motores montados en la parte trasera, V o colas en V invertidas y tren de aterrizaje totalmente retráctil. Los misiles de crucero en esta categoría son muy similares en apariencia a los de 1.A.2.

Apariencia (como empaquetado): Los UAV de categoría II, 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. Los sistemas de UAV descritos en este Artículo pueden empaquetarse como unidades completas, o pueden separarse en los puntos de ruptura y empaquetarse utilizando los mismos procedimientos y materiales que los UAV descritos en 1.A.2.



Imagen 164: Un UAV de resistencia de rango medio. A pesar de su pequeño tamaño, este UAV elástico lanzado en catapulta es capaz de transportar una carga útil de 1 kg (IR y cámaras digitales) a un alcance de 400 km. (Aerovision Vehículos Aéreos, SL)

19.A.3. Sistemas completos de vehículos aéreos no tripulados, no especificados en 1.A.2. o 19.A.2., que tengan todo lo siguiente:

a. Tener cualquiera de los siguientes:

1. Un control de vuelo autónomo y capacidad de navegación; o
2. Capacidad de vuelo controlado fuera del radio de visibilidad directo con participación de operador humano; y

b. Tener cualquiera de los siguientes:

1. Que incorporen un sistema/mecanismo de pulverización de aerosoles con una capacidad superior a 20 litros; o
2. Diseñados o modificados para incorporar un sistema/mecanismo de pulverización de aerosoles con una capacidad superior a 20 litros.

Nota:

Punto 19.A.3. no somete a control aviones modelo, especialmente diseñados para fines recreativos o de competencia.

Notas técnicas:

1. Un aerosol consiste en partículas o líquidos distintos de los componentes, subproductos o aditivos del carburante, como parte de la "carga útil" que será dispersada en la atmósfera. Los pesticidas para fumigar las cosechas y los productos químicos pulverizados para la siembra de nubes son ejemplos de aerosoles.

2. Un sistema/mecanismo de pulverización de aerosoles contiene todos los dispositivos (mecánicos, eléctricos, hidráulicos, etc.) necesarios para el almacenamiento y la dispersión del aerosol en la atmósfera. Ello incluye la posibilidad de inyectar aerosol en los gases de combustión y en la estela de la hélice.

Naturaleza y propósito: Punto 19.A.3. cubre vehículos aéreos no tripulados equipados o diseñados para transportar un sistema/mecanismo de dispensación de aerosoles con una capacidad superior a 20 litros, y una capacidad autónoma de control de vuelo y navegación o la capacidad de mantener un vuelo controlado más allá de la línea de visión de un operador humano.

Método de operación El sistema UAV puede basarse en un avión diseñado específicamente para vuelos no tripulados. El sistema UAV también puede ser una modificación de un avión tripulado, 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.

El sistema UAV puede ser controlado por 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 o retransmitirlo a través de un enlace de datos a bordo desde otra plataforma.



Imagen 165: Un sistema modular de rociado aéreo, utilizado para la aplicación de pesticidas, puede usar una configuración llamada toberas de pulverización especializadas de volumen ultra bajo como las que se muestran aquí para extender la mitad a una onza de químico sobre un acre. (Fuerza aérea de los EE. UU.)

- Australia
- Bulgaria
- República Checa
- Francia
- India
- Iraq
- Italia
- Libia
- Pakistán
- Sudáfrica
- Suecia
- Ucrania
- Reino Unido
- Brasil
- China
- Egipto
- Alemania
- Irán
- Israel
- Japón
- Corea del Norte
- Federación de Rusia
- República de Corea
- Siria
- EAU
- Estados Unidos

Producción global



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.

Los agentes de guerra biológica (BW) pueden ser armados mediante conversión en aerosoles. Un aerosol se define bajo este artículo como partículas o líquidos que no sean componentes de combustible, subproductos o aditivos que son parte de la carga útil del sistema UAV para dispersarse en la atmósfera. Dichos aerosoles pueden incluir pesticidas utilizados para proteger los cultivos de insectos y productos químicos secos pulverizados en la atmósfera para sembrar la formación de nubes. Como mínimo, un sistema de pulverización contiene un tanque para almacenar los aerosoles, una bomba para hacer fluir los aerosoles a la tobera de pulverización y la propia tobera para emitir la nube de aerosol. (Imagen 165)

Usos típicos relacionados con misiles: La dispersión de BW o agente químico usando una nube en aerosol es el medio más efectivo de diseminación.

Las trayectorias de vuelo de los UAV, incluidas las de los misiles de crucero, son adecuadas para dispensar agentes biológicos y químicos, ya que el misil puede preprogramarse para sobrevolar un objetivo seleccionado y dispensar los agentes desde la bahía de ojivas durante un período de tiempo desde una altitud baja.

Otros usos: Un UAV descrito en este Artículo podría usarse en las industrias agrícolas y de control de plagas.

Apariencia (como se fabrica): Los UAV que incorporan dispensadores de aerosol o modificados para poder transportar dichos sistemas/mecanismos adoptan una variedad de formas. El alcance y las capacidades de carga varían, y pueden ser de ala fija o de ala giratoria. Los sistemas de UAV completos controlados bajo este artículo también pueden incluir aeronaves tripuladas que se modifican para volar de forma autónoma o remota. Dichas aeronaves modificadas también suelen retener una cabina, que está vacía o llena de equipos electrónicos o carga útil durante el vuelo.

La mayoría de los sistemas conocidos para realizar pulverizaciones aéreas autónomas se basan en helicópteros. Estos UAV de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) generalmente están diseñados para fines agrícolas, rociando cultivos con pesticidas o fertilizantes. Los sistemas en esta categoría a menudo se caracterizan por tener uno o más tanques de carga útil montados externamente, ya sea en el vientre o en los costados de la aeronave; y barras de pulverización y/o una tobera de cono. Estas aeronaves también pueden equiparse con cargas útiles de observación, incluidas cámaras de TV e IR y otros sensores. Los UAV de ala giratoria diseñados para la pulverización agrícola, como el que se muestra en la Imagen 166, tienden a tener un radio de misión, alcance y resistencia reducidos, debido a las limitaciones de comando y control y la misión prevista de la aeronave, que estipula la pulverización de proximidad. Normalmente no pueden operar durante más de unas pocas horas y a distancias de más de un par de millas, sin embargo, los diseños de mayor alcance son posibles en esta categoría.

Los UAV de entrega de aerosoles en plataformas de ala fija podrían diseñarse como UAV equipados con tanques y dispositivos de dispersión, o como aeronaves diseñadas para fines de pulverización pilotada equipados con sistemas de control autónomos. Estos podrían tener tanques internos o externos y sistemas de rociado montados en el vientre, la ojiva, la cola o las alas de la nave.

Apariencia (como empaquetado): Los sistemas de UAV controlados bajo este Artículo pueden empaquetarse para su envío como se describe en el Artículo 1.A.2. Estos UAV a menudo se empaquetan como varios componentes y subsistemas separados, y se ensamblan juntos cuando es necesario para la operación. Los subsistemas podrían incluir aviónica, enlaces de datos, estación terrestre y un sistema de lanzamiento y recuperación. Los componentes pueden incluir elementos del fuselaje, alas, control superficies y tren de aterrizaje. Algunos sistemas UAV también incorporan patines para aterrizar, con catapultas utilizadas como mecanismo de lanzamiento. Los tanques y los aparatos de rociado pueden empacarse en cajones de madera y enviarse por separado.



Imagen 166: Un UAV de ala giratoria diseñado con tanques químicos y barras de pulverización para fines agrícolas. Yamaha

19.B. Equipo de prueba y producción

19.B.1. "Medios de producción" especialmente diseñadas para los sistemas especificados

Naturaleza y propósito: Las instalaciones de producción que están especialmente diseñadas para la construcción de sistemas completos de entrega toman una variedad de formas. Algunos se integran en un complejo industrial más grande que incluye capacidades de diseño y prueba, mientras que otros se mantienen alejados de las áreas pobladas. Ambos contienen todas las plantillas, utillaje y herramientas necesarios relacionados para producir sistemas de cohetes o UAV. Las instalaciones para misiles balísticos y vehículos de lanzamiento espacial requieren al menos un edificio lo suficientemente grande como para ensamblar todo el sistema y contener los accesorios de alineación necesarios y el equipo de manejo de materiales para cumplir la misión. Las instalaciones de UAV pueden ser considerablemente más pequeñas y se asemejan a almacenes normales o sitios industriales.

Método de operación: Los materiales, componentes y subconjuntos se entregan a las instalaciones de producción en cajas, cajones y, para artículos más grandes, en palets, camiones o vagones de ferrocarril. Para los sistemas de cohetes, esto incluye tanques de combustible y oxidantes o carcasas de motores, conjuntos de motores, máscaras y carga útil. Para los sistemas UAV, esto incluye el fuselaje, los largueros del ala y los conjuntos del motor. Los equipos de manipulación de materiales, como los montacargas y las grúas aéreas, se utilizan para mover los artículos a su posición adecuada en la instalación de producción. Utillaje, accesorios, equipos de alineación y herramientas se utilizan para construir el sistema de misiles o UAV. Para misiles grandes o vehículos de lanzamiento espacial, se utilizan láseres de alineación para ayudar al proceso.

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, utillaje y herramientas generalmente están diseñados para un solo cohete o sistema UAV. Modificar estas unidades para otros usos no es práctico ni económico.

Apariencia (como se fabrica): Las plantillas y accesorios generalmente se ensamblan soldando o atornillando grandes placas de acero y vigas en I 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.

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. El utillaje más pequeño puede empaquetarse individualmente en cajones o palets para embarque. Las grandes fábricas pueden producir plantillas y accesorios de ensamblaje en el sitio como parte de su esfuerzo de fabricación general.

19.C. Materiales

Ninguno.

19.D. Programas informáticos

19.D.1. "Programas informáticos" que coordinan la función de más de un subsistema, especialmente diseñados o modificados para la "utilización" en los sistemas especificados en 19.A.1. o 19.A.2.

Nota:

Para una aeronave tripulada convertida para operar como un vehículo aéreo no tripulado especificado en 19.A.2.,

19.D.2. incluye "programas informáticos", como sigue:

a. 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.

Naturaleza y propósito: El programa informático descrito en este Artículo tiene la misma naturaleza y propósito que el descrito en el Artículo 1.D.2.

Método de operación: El programa informático descrito en este Artículo tiene el mismo método de operación que el descrito en el Artículo 1.D.2.

Usos típicos relacionados con misiles: El programa informático descrito en este Artículo tiene los mismos usos relacionados con misiles que el programa informático descrito en el Artículo 1.D.2.

Otros usos: N/C

Apariencia (como se fabrica): El programa informático descrito en este artículo tiene el mismo aspecto que el descrito en el artículo 1.D.2.

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 19.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.

Información adicional: Típicamente, no habría programa informático de vuelo en pequeños sistemas de cohetes que sean sistemas no guiados, estabilizados por giro, de "apuntar y disparar". Un código de simulación de trayectoria bidimensional/de tres grados de libertad podría cargarse en la consola de lanzamiento o podría usarse para preparar mesas de tiro.

19.E. Tecnología

19.E.1. "Tecnología", de conformidad con la Nota General de Tecnología, para el "desarrollo", "producción" o "utilización" de los equipos especificados en 19.A.

Naturaleza y propósito: La tecnología descrita en este Artículo tiene la misma naturaleza y propósito que la tecnología descrita en el Artículo 1.E.1.

Método de operación: La tecnología descrita en este Artículo tiene el mismo método de operación que la tecnología descrita en el Artículo 1.E.1.

Usos típicos relacionados con misiles: La tecnología descrita en este Artículo tiene los mismos usos típicos relacionados con misiles que la tecnología descrita en el Ítem 1.E.1.

Otros usos: N/C

Apariencia (como se fabrica): N/C

Apariencia (como empaquetado): N/C

Categoría II - Artículo 20
Otros subsistemas
completos

Categoría II - Artículo 20: Otros subsistemas completos

20.A. Equipos, ensamblajes y componentes

20.A.1. Subsistemas completos de la siguiente manera:

- a. Etapas individuales de cohetes, no especificadas en 2.A.1., utilizables en sistemas especificados en 19.A. ;
 b. Subsistemas de propulsión de cohetes, no especificados en 2.A.1., utilizables en los sistemas especificados en 19.A.1., como sigue:

1. Motores de cohete propulsante sólido o motores de cohete híbrido con una capacidad de impulso total igual o superior a $8,41 \times 10^5$ Ns, pero inferior 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 $8,41 \times 10^5$ Ns, pero menor a $1,1 \times 10^6$ Ns;

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

Producción global



Naturaleza y propósito: Subsistemas completos (incluidas las etapas de cohete de propulsante sólido, líquido, híbrido o gel, motores de cohete de propulsante sólido, híbrido o gel, y motores de cohete de propulsante líquido) utilizados en sistemas incluidos en el Artículo 19.A.1. son similares en la mayoría de los aspectos a los artículos controlados por el Artículo 2.A.1. La diferencia clave está determinada por la ausencia de un requisito de tener una capacidad de carga útil de 500 kg o más en los sistemas controlados por el Artículo 19.A. El tamaño más pequeño de estos sistemas dicta que sus componentes del subsistema y los sistemas de propulsión son igualmente más pequeños y menos potentes que los controlados por el Artículo 2.A.1.

Motores cohete de propulsante sólido, híbrido y de gel que cumplen con los requisitos del Artículo 20.A.1. – pero no el Artículo 2.A.1. – son inusuales, porque los umbrales

de impulso total para este criterio de control están muy juntos. El Artículo 20.A.1.b.1. el umbral excede las tres cuartas partes del Artículo 2.A.1.c.1. cantidad.

Los motores de cohete de propulsante líquido se han construido en una amplia gama de tamaños (magnitudes de empuje). Van desde grandes motores de lanzamiento espacial hasta pequeños motores de control de reacción diseñados para ajustar la trayectoria de un vehículo espacial fuera de la atmósfera. Si bien estos pequeños motores de control de reacción funcionan a bajo empuje, generalmente son capaces de durar mucho tiempo (miles de segundos) y, en consecuencia, también pueden lograr el criterio de control de impulso total especificado en el Artículo 20.A.1.b.2. En la práctica, el total

La capacidad de impulso de cualquier motor de cohete de propulsante líquido está determinada por el volumen de los tanques de propulsante conectados al motor.

Las pequeñas etapas de cohetes, junto con sus motores sólidos o motores líquidos, han recibido una mayor atención en el siglo XXI con el fin de entregar los satélites más pequeños a la órbita terrestre. Los motores de cohetes sólidos a veces se usan para maniobras de naves espaciales más allá de la órbita terrestre baja.

Método de operación Las etapas del cohete generalmente consisten en una estructura, propulsión sólida o líquida y un sistema de control. Al igual que con sus equivalentes más grandes, los sistemas de cohetes de etapas múltiples descartan las etapas inferiores a medida que queman su propulsante. Para obtener detalles sobre los métodos de operación, consulte las explicaciones correspondientes en el Manual de MTCR para los Artículos 2.A.1.a. y 2.A.1.c.

Usos típicos relacionados con misiles: Las etapas de cohetes controladas por el Artículo 20.A.1. son subsistemas necesarios y vitales de los sistemas de cohetes de los que forman parte. También se utilizan en pruebas y desarrollo de misiles. Los motores de cohete de propulsante sólido, híbrido y de gel y los motores propulsores líquidos proporcionan el empuje para acelerar el sistema a la velocidad requerida.

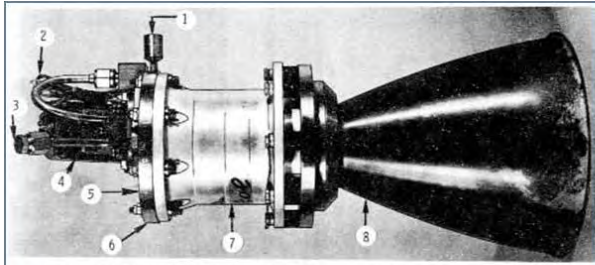
Otros usos: En las instalaciones de prueba, se han utilizado motores de cohetes sólidos para lograr altas aceleraciones y altas velocidades, en particular para empujar trineos cohetes que aceleran un objeto de prueba en una pista a lo largo del suelo. Los pequeños motores de cohetes líquidos son ampliamente utilizados en satélites y naves espaciales.

Apariencia (como se fabrica): Etapas de cohetes, motores de propulsante sólido, híbrido y de gel, y motores de propulsante líquido controlados por el Artículo 20.A.1. parecen versiones más pequeñas de sus contrapartes más grandes controladas por el Artículo 2.A.1. Las etapas de cohetes individuales controladas por el Artículo 20.A.1. generalmente se formarían como cilindros que van desde 1,5 m a 3 m de longitud y 0,3 m a 1 m de diámetro. Las etapas sólidas de los cohetes y los motores suelen ser cilindros fabricados con chapa de acero robusta, materiales compuestos (fibras en resinas) o una combinación de ambos. Las etapas de cohete líquido son cilindros que consisten principalmente en las paredes de los tanques de propulsores, estos últimos típicamente de aluminio.

Los motores de cohete propulsor sólido son tubos cilíndricos con cúpulas en ambos extremos para la fijación del encendedor y la boquilla, respectivamente (Imagen 167). Las toberas generalmente se colocan antes del envío. El tamaño y las dimensiones de estos motores dependen de su propósito. Los motores de cohetes sólidos que se muestran en la Imagen 168 tienen un diámetro de 0,7 m y una longitud de 1.2 m. Su forma de caja casi esférica los hace apropiados para maniobras más allá de la mayor parte de la atmósfera, incluidas las etapas superiores de misiles, así como las maniobras de naves espaciales.

Los motores de cohete de propulsante líquido para misiles relativamente pequeños son menos propensos que sus homólogos más grandes a incluir bombas centrífugas giratorias accionadas por turbina (turbobombas). La Imagen 167 muestra un ejemplo de tal motor alimentado a presión, diseñado para recibir propulsores de tanques que están presurizados a niveles más altos que la cámara de combustión del motor.

Apariencia (como empaquetado): Las etapas de cohetes se envían en contenedores o cajones de acero o madera especialmente diseñados. Los motores de cohetes sólidos generalmente se envían en contenedores de acero o aluminio o cajones de madera. Los motores de cohetes de propulsante líquido también se envían en contenedores o cajones especialmente diseñados.



- | | |
|---|--|
| 1- Puerto de instrumentación de presión de cámara | 5- Puerto de entrada de combustible |
| 2- Cables conductores eléctricos | 6- Caja del inyector |
| 3- Puerto de entrada del oxidante | 7- Asamblea de la cámara de empuje |
| 4- Válvula bipropelente | 8- Extensión de la tobera de radiación |

Imagen 167: Izquierda: Un motor de control de reacción; abajo a la izquierda: una pila de motores de cohete de propulsante sólido controlados bajo la Categoría II. Los motores a la izquierda de esa foto son lo suficientemente grandes como para ser controlados bajo el Artículo 2, Categoría I. A continuación: Una vista lateral de un contenedor de envío que contiene cuatro motores de cohete de propulsante sólido de Categoría II. (MTCR Equipment, Software and Technology Annex Handbook, Third Edition (May 2005))

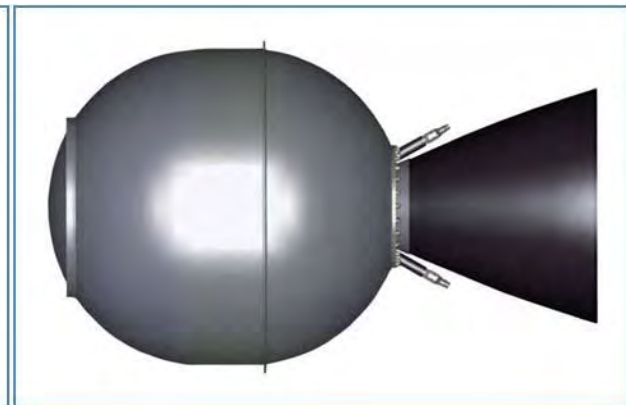
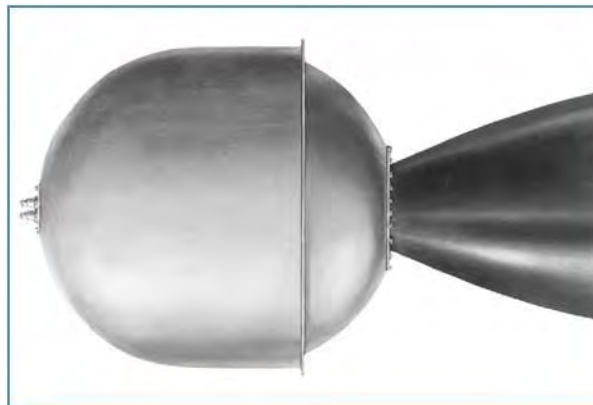


Imagen 168: A la izquierda hay un motor de cohete de categoría II que se ha utilizado como motor de apogeo en una variedad de aplicaciones desde 1975. A la derecha hay una versión del mismo motor desarrollado en 2006. (JAXA)

20.B. Equipo de prueba y producción

20.B.1. "Medios de producción" especialmente diseñadas para los subsistemas especificados en 20.A.

Naturaleza y propósito: Las instalaciones de producción del subsistema son a menudo grandes áreas industriales diseñadas para fabricar motores de cohete de propulsante sólido o motores de cohete de propulsante líquido. Las instalaciones de mezclado de propulsante sólido a menudo se construyen en regiones aisladas, eliminadas de las áreas pobladas por razones de seguridad.

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. 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.

Los motores de cohete de propulsante líquido o los motores de cohete de propulsante en gel 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, limpiadas y ensambladas.

Usos típicos relacionados con misiles: Los componentes y conjuntos fabricados en estas instalaciones se utilizan para construir y probar los elementos enumerados en 20.A.

Otros usos: N/C

Apariencia (como se fabrica): Artículo 20.B.1. Las instalaciones y equipos de producción para las etapas completas y los motores de cohete de propulsante sólido, híbrido y de gel y los motores de cohete de propulsante líquido son similares a los descritos en el Artículo 2.B.1. Las instalaciones y equipos descritos en este Artículo pueden ser indistinguibles de aquellos diseñados para producir etapas de cohetes más grandes o motores de cohete de propulsante líquido. Sin embargo, pueden ser de menor tamaño. Los medios de producción y equipos para etapas de cohetes individuales y motores controlados por el Artículo 20.A.1. son similares a los discutidos en el Artículo 2.A.1., y en la mayoría de los casos serán indistinguibles de aquellos para artículos más grandes.

Apariencia (como empaquetado): Las instalaciones y equipos descritos en este Artículo pueden empaquetarse utilizando los mismos procedimientos y materiales que los descritos en el Artículo 2.B.1. para las etapas completas y motores de cohete de propulsante sólido, híbrido o de gel y motores de cohete de propulsante líquido.

20.B.2. "Equipo de producción" especialmente diseñado para los subsistemas especificados en 20.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 metales, herramientas para moler, filtrar y mezclar propulsores, moldes o mandriles para formar el núcleo del motor o la superficie de combustión, dispositivos para fabricar y pirolizar toberas de motores y equipos para probar el sistema de control de vectores de empuje en el motor completo. Las instalaciones también pueden contener equipos de bobinado para cubrir carcasas de motor con materiales compuestos de fibra.

Cada componente en un subsistema de propulsión de cohete de propulsante líquido requiere equipo de producción. Las válvulas de encendido y apagado de propulsante requieren fresadoras para fabricar piezas metálicas y equipos de prueba de flujo y fugas para el control de calidad. 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.

Usos típicos relacionados con misiles: Los componentes y ensamblajes producidos usando el equipo descrito en este Artículo se usan para construir y probar los artículos enumerados en el Artículo 20.A.

Otros usos: N/C

Apariencia (como se fabrica): Artículo 20.B.2. El "equipo de producción" es similar al equipo para las etapas completas y los motores de cohete de propulsante sólido, híbrido o de gel y los motores de cohete de propulsante líquido descritos en el punto 2.B.2. El equipo descrito en este Artículo puede ser indistinguible del diseñado para producir etapas de cohete más grandes o motores de cohete de propulsante líquido. Sin embargo, puede ser de menor tamaño.

Apariencia (como empaquetado): El "equipo de producción" descrito en este Artículo puede empaquetarse utilizando los mismos procedimientos y materiales que los descritos en el Artículo 2.B.2. para las etapas completas y motores de cohete de propulsante sólido, híbrido o de gel y motores de cohete de propulsante líquido.

20.C. Materiales

Ninguno.

20.D. Programas informáticos

20.D.1. "Programas informáticos" especialmente diseñados o modificados para los sistemas especificados en 20.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). 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.

Usos típicos relacionados con misiles: El equipo CNC es ampliamente utilizado en la fabricación y prueba de partes del sistema de misiles y se basa tanto en el programa informático interno como en el programa informático CAM para crear las diversas partes de los sistemas de misiles. El equipo CNC controla y gestiona 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 poliéster o epoxi 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.

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): 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, incluida la cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos, puede contener este programa informático y estos datos.

Apariencia (como empaquetado): La cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos que contienen programa informático 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.

20.D.2. "Programas informáticos", no especificados en 2.D.2., especialmente diseñados o modificados para la "utilización" de motores de cohetes o motores especificados en 20.A.1.b.

Naturaleza y propósito: El "programa informático" descrito en este Artículo tiene la misma naturaleza y propósito que el descrito en el Artículo 2.D.2.

Método de operación: El "programa informático" descrito en este Artículo emplea el mismo método de operación que el descrito en el Artículo 2.D.2.

Usos típicos relacionados con misiles: El "programa informático" descrito en este Artículo tiene los mismos usos relacionados con los misiles que el programa informático descrito en el Artículo 2.D.2.

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, incluida la cinta magnética, los disquetes, los discos duros extraíbles, las unidades flash USB, los discos compactos y los documentos, puede contener este programa informático y estos datos.

Apariencia (como empaquetado): El "programa informático" descrito en este Artículo tiene la misma apariencia de empaque que el descrito en el Artículo 2.D.2, y puede transferirse a través de Internet.

20.E. Tecnología

20.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 20.A., 20.B. o 20.D.

Naturaleza y propósito: Tecnología controlada bajo el Artículo 20.E.1. cubre las instrucciones y el conocimiento necesario para desarrollar, producir o usar cualquiera de los equipos o programa informático especificados en los Artículos 20.A., 20.B. o 20.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 subconjuntos de misiles se usa solo para ese propósito.

Otros usos: N/C

Apariencia (como se fabrica): N/C

Apariencia (como empaquetado): N/C

ÍNDICE TÓPICO

A

acelerador · 292, 293
acelerómetro · 54, 190, 191, 192, 194, 202, 204, 209, 210, 211, 254, 298...
fabricación aditiva · 47, 49, 51, 92, 93, 100, 114, 121
instalación de prueba aerodinámica · 295, 296
altímetro · 43, 201, 231, 232, 233
aluminio, aluminio · 121, 122, 127, 276
Convertidor análogo/analógico a digital · 275
actitud · 13, 24, 40, 88, 90, 118, 201, 202, 203, 219, 220, 228
piloto automático · 204, 219
autónomo · 16, 53, 250, 317, 334, 335, 336

B

equilibradora · 209, 210
rodamiento de bola · 80, 81
berilio · 121
boro · 121, 122, 172
Bremsstrahlung · 292

C

CAD/CAM · 49, 93, 345
carbono-carbono · 48, 145, 161, 163, 165, 167, 172, 179
carborano · 135
carboranos · 135
centrífuga · 209, 211
cerámica · 25, 49, 50, 83, 90, 152, 153, 154, 155, 169, 170, 171, 172, 173, 182, 239, 271, 311, 322, 324
Números del Servicio de Resúmenes Químicos (CAS) · 119, 127 clorato · 123
cromato · 123
cámara de combustión · 20, 21, 29, 32, 33, 34, 37, 53, 61, 64 76 77 79 80 81 84 87 88 89 90 107 118 124 138 154 155 159 160 161 223 290 291 296 342
compuesto · 4, 21, 26, 30, 33, 40, 47, 48, 51, 70, 75, 84, 92, 93 111 114 115 116 121 130 133 137 144 145 146 149 150 151 155 156 161 162 164 165 166 169 170 172 173 174 178 180 181 233 235 237 245 310 311 325 342 345 346

ordenador · 3, 14, 15, 16, 17, 27, 36, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55 56 57 58 59 66 93 99 100 101 102 139 140 147 149 160 179 180 181 187 199 211 212 213 214 215 216 219 223 224 225 226 227 228 229 234 238 239 242 243 244 246 249 251 256 258 265 266 267 268 270 271 272 273 275 276 278 282 283 292 298 299 302 303 304 305 306 312 313 314 317 318 338 345 346 347
cubano · 121

D

diseñado o modificado · 17, 52, 59, 215, 236, 248, 251, 338
detector · 190, 194, 314, 317, 322, 323, 324, 326, 327
doppler · 201, 232, 233, 238, 242
dron · 10

E

electromagnético · 28, 49, 93, 169, 172, 219, 231, 233, 234, 254 281 309 310 313 315
electromecánico · 40, 46, 76, 140, 229
motor, ciclo combinado · 63, 65
motor, turbina de gas · 61, 62, 80, 84, 86, 100, 155, 170, 173
motor, propulsante líquido · 4, 18, 32, 39, 45, 46, 49, 51, 52, 53 57 59 77 82 83 91 94 100 101,103 117 124 138, 178, 288, 298, 300, 341, 342, 344, 345, 348
motor, pulsorreactor · 63, 64, 65, 93, 101, 102
motor, estatorreactor · 63, 64, 65, 66, 67, 93, 99, 101, 102, 121, 122, 155,
motor, estatorreactor de combustión supersónica · 63, 64, 65, 93, 99, 101, 102
motor, turboventilador · 61, 62, 63, 65, 80, 85, 91, 92, 93, 99, 101
motor, turborreactor · 61, 62, 63, 65, 80, 84, 85, 91, 92, 93, 99, 101, 155,
motor, turbohélice · 80, 84, 85, 86, 87, 91, 92, 93, 101
motor, estatorreactor · 65
lanzador erector · 250
éster · 116, 136, 137
etileno propileno dieno monómero (EPDM) · 48, 70, 99
perno explosivo · 73, 74, 75

F

ferroceno · 134, 135
colocación de fibra/hijo · 146, 147, 148, 178
banda de filamento · 146, 148, 149
devanadora de filamentos · 146, 147, 148, 178

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

sistema de control de vuelo · 8, 16, 17, 36, 54, 187, 213, 219, 220, 221, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 331, 335
molino de energía fluida · 107, 112, 139

G

pórtico · 146, 148, 149, 151, 248, 250, 288
Sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) · 36, 332
GLONASS · 236
GPS · 10, 201, 202, 216, 236, 243
gradiómetro · 254, 255
grafito · 34, 48, 52, 75, 80, 93, 145, 158, 159, 162, 167, 168, 169, 346...
medidor de gravedad · 191, 254, 255, 256
conjunto de orientación · 36, 37, 38, 40, 73, 190, 192, 193, 194, 196, 219, 236, 245, 270
brújula giroscópica · 36, 187, 188, 211, 212
giroscopio · 36, 50, 54, 186, 190, 191, 200, 201, 205, 208, 209, 210, 211, 212, 214, 298
giroestabilizador, giroestabilizador · 194, 213, 219

H

hafnio · 172, 173
HALE · 7, 9, 62, 271, 331
escudo térmico · 24, 25, 26, 27, 138, 144, 145, 149, 150, 166, 172, 182,
disipador de calor · 26, 27, 239, 271, 276,
277
ordenador híbrido · 304
hidráulica · 22, 40, 62, 73, 74, 75, 76, 77, 94, 95, 221, 222, 223, 224, 228, 229, 251, 252, 298
hidrazina · 82, 83, 117, 118, 119, 122, 124, 126
polibutadieno terminado en hidroxilo · 116

I

cabeza indicadora · 210
medición de inercia · 36, 187, 199, 201, 202, 203, 204, 214, 215,
navegación inercial · 9, 52, 191, 202, 204, 208, 213, 214, 238, 239, 242, 254, 332
infrarrojo · 88, 106, 140, 162, 233, 238, 260, 284, 298, 309, 315, 317,
aislamiento · 26, 48, 63, 69, 70, 71, 72, 81, 83, 92, 93, 97, 98, 99, 102, 107, 161, 200, 286, 292, 303, 305, 325
instrumento de vuelo integrado · 186, 187, 190, 191, 192, 193, 194, 199, 211, 212, 213, 214, 219, 234, 236, 270
sistema de navegación integrado · 37, 56, 201, 202, 203, 215, 270
interferómetro · 238

máquina de entrelazado · 178
interetapas · 21, 73, 74, 75, 91, 99, 101, 102, 144, 149, 164, 176, 240, 241...
prensa isostática · 160, 161, 179, 180

J

paleta · 39, 41, 57, 172, 223, 228
utillaje · 12, 13, 14, 46, 47, 49, 91, 92, 93, 94, 223, 224, 337, 338, 345
RTSP (-10, 121, 122)

L

laminado · 144, 159, 164, 325
láser · 43, 168, 194, 204, 208, 211, 212, 213, 214, 216, 224, 231, 232, 238, 242, 261, 262, 282, 337
plataforma de lanzamiento · 240, 248, 250
USB 231, 233

Lista

herramienta de máquina · 51, 99, 100, 346
magnesio · 106, 121, 282
sensor de rumbo magnético · 203
MALE · 7, 9, 331, 332
mandril · 12, 46, 47, 48, 51, 91, 94, 95, 107, 140, 144, 146, 148, 150, 164, 182, 345, 346
acero martensítico · 176, 177
USB 23, 24
mecanismo, separación · 73, 74, 101, 102
mecanismo, puesta en escena · 73, 74, 93, 101, 102
polvo de metal · 107, 114, 115, 121, 139, 140
microcircuito · 28, 190, 237, 321, 322, 323, 324, 326, 327
misil balístico · 3, 4, 5, 6, 8, 17, 18, 21, 33, 35, 37, 40, 41, 44, 46, 57, 59, 69, 74, 79, 81, 82, 83, 85, 88, 89, 92, 101, 103, 115, 125, 130, 135, 144, 170, 172, 187, 190, 191, 199, 202, 217, 228, 231, 232, 233, 234, 239, 242, 245, 248, 249, 251, 254, 255, 256, 271, 276, 285, 295, 298, 300, 305, 307, 310, 314, 315, 317, 319, 322, 323, 324, 326, 327, 329, 330, 337
mezcladora, por lotes · 110, 111, 130
mezcladora, continua · 110, 111, 130
modelado · 302, 303, 305, 306, 307
molibdeno · 159, 174, 175, 176
simulador de movimiento · 208, 210

N

neopreno · 70, 99
ácido nítrico · 82, 106, 117, 125, 126, 127
nitrilo · 70, 99
boquilla · 20, 21, 26, 29, 30, 32, 33, 34, 39, 40, 41, 46, 47, 48,
51, 52, 53, 57, 62, 64, 65, 69, 70, 71, 72, 75, 79, 80, 82,
85, 87, 88, 89, 90, 93, 95, 99, 100, 102, 114, 115, 124,
144, 145, 151, 154, 155, 156, 158, 159, 161, 162, 163,
164, 165, 166, 167, 168, 170, 172, 174, 175, 178, 179,
180, 181, 182, 219, 222, 223, 225, 286, 290, 292, 295,
296, 335, 342, 344, 345, 346

O

oxidante · 2, 12, 21, 29, 32, 33, 34, 48, 76, 77, 79, 80, 81,
82, 83, 87, 90, 91, 92, 97, 98, 112, 114, 116, 117, 118,
121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 131, 132,
139, 177, 178, 337

P

pintura · 112, 114, 121, 131, 144, 158, 310, 311, 315, 316
carga útil · 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 17, 18, 23, 24, 26, 27, 29, 43,
56, 58, 65, 73, 75, 81, 82, 108, 114, 146, 152, 172, 186,
212, 233, 240, 270, 281, 302, 303, 305, 310, 312, 315,
329, 330, 331, 332, 335, 337, 341
perclorato · 107, 116, 123
túnel de plasma · 295, 296
plastificante · 136 neumáticos · 73,
74, 75, 281, 332
poliacrilonitrilo (PAN) · 145, 152, 166
polibutadieno · 70, 99, 116, 131
polimérico · 130, 131, 132, 133, 152, 153
mesa de posicionamiento · 210
preimpregnación · 148, 156, 164, 165, 181
equipo de producción · 12, 49, 93, 105, 107, 108, 109,
113, 114, 139, 140, 141, 178, 207, 208, 216, 345
instalación de producción · 10, 12, 15, 46, 47, 48, 91, 92, 105, 252,
333 337, 344 345
perfilómetro · 208
propulsante, sólido · 4, 14, 20, 29, 30, 33, 49, 73, 76, 81, 82, 87,
48, 52, 53, 57, 64, 69, 70, 71, 79, 80, 82, 88, 92, 93, 94,
97, 98, 99, 100, 102, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 115,
121, 123, 128, 130, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140,

sistemas de control de propulsante · 76 propulsante, doble
base · 114

propulsante, gel · 34, 35, 52, 53, 76, 83, 87, 88, 99, 101, 138,
287, 341, 342, 344, 345
propulsante, líquido · 3, 4, 20, 21, 32, 33, 34, 35, 49, 77, 79,
81, 82, 83, 84, 88, 91, 93, 105, 106, 121, 124, 138, 139,
140, 141, 177, 329, 330, 345 propulsante, semilíquido · 76, 107
propulsante, sólido · 3, 4, 20, 21, 22, 30, 32, 33, 34, 45, 46, 47,
48, 52, 53, 57, 64, 69, 70, 71, 79, 80, 82, 88, 92, 93, 94,
97, 98, 99, 100, 102, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 115,
121, 123, 128, 130, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140,
141, 172, 288, 292, 298, 330, 342, 344, 345, 346
pirolizado · 47, 180

R

radar · 10, 27, 29, 43, 45, 56, 169, 199, 201, 203, 213, 214,
216, 231, 232, 233, 234, 238, 242, 257, 260, 309, 312,
313, 314, 317, 318
sección transversal del radar · 312, 318 radar, instrumentación de
alcance · 261 resistente por radiación · 28, 197
radomo · 170, 318, 324, 325
mesas de velocidad · 208, 209
vehículo de reentrada · 16, 17, 23, 32, 35, 45, 47, 50, 54, 56, 58,
83, 88, 145, 172, 197, 211, 239, 245, 285, 324
reflectividad · 312
reflectómetro · 208
carcasa de motor de cohete · 46, 69, 70, 71, 72, 92, 97, 99, 107, 108,
115, 130, 344...
motor de cohete, gel · 341
motor cohete, híbrido · 33, 34, 69, 79, 80, 99, 101, 130, 341
motor de cohete, sólido · 20, 29, 30, 32, 33, 39, 40, 42, 65, 69,
70, 79, 107, 114, 115, 116, 123, 128, 130, 132, 133, 138,
144, 146, 164, 176, 223, 287, 288, 290, 292, 294, 341,
342
etapa de cohete · 20, 21, 22, 23, 32, 35, 39, 75, 81, 82, 84, 287,
341 342, 344 345
sistema de cohetes · 2, 3, 4, 5, 12, 17, 20, 21, 26, 54, 55, 82, 83,
91, 93, 115, 121, 122, 145, 167, 182, 186, 212, 213, 214,
215, 220, 221, 225, 226, 227, 236, 238, 251, 257, 260,
266, 270, 273, 287, 302, 306, 307, 312, 329, 330, 337,
339, 342
cohete, sonda · 4, 18, 33, 59, 79, 100, 103, 228, 300,
307, 330

S

seguro, brazo, espoleta y fuego (SAFF) · 27, 28, 43, 44, 45, 56, 58
USB 10, 258

satélite · 2, 4, 32, 83, 84, 90, 115, 118, 126, 187, 223, 236, 243 245 258 271 276 290 303 306 310 315 317

322 323, 330 342

SCADA · 14

dispersómetro · 208

servoválvula · 76, 77, 79, 91, 99, 101, 222, 223, 228

agitador · 281, 282, 291, 298

carburo de silicio · 171, 172

siló · 125, 240, 248, 250, 325

simulación · 59, 102, 178, 216, 217, 225, 226, 227, 229, 281 302 303 305 306 307 339

vehículo de lanzamiento espacial · 2, 4, 21, 30, 32, 33, 40, 59, 77, 79, 81, 82, 83, 88, 89, 115, 125, 165, 220, 248, 249, 263, 300, 323, 330, 337

especialmente diseñado · 12, 16, 17, 22, 28, 38, 50, 52, 83, 84, 95, 99, 101, 105, 150, 162, 207, 208, 214, 226, 236, 282, 315 316 317 318 337 338 343

estabilizador · 107, 136, 137, 139, 147

sigilo · 9, 309, 310, 315, 319

sujeto · 38, 192, 194, 199, 204, 208

T

tanque · 4, 12, 20, 21, 29, 32, 33, 34, 35, 40, 41, 46, 53, 59, 74, 76, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 91, 93, 95, 99, 105, 114, 118, 119, 124, 125, 126, 127, 131, 138, 146, 147, 152, 176, 178, 179, 194, 249, 250, 286, 287, 288, 293, 335, 336, 337, 342

máquinas para el tendido de cintas · 148, 149, 178

telecontrol · 256, 257, 258, 261

telemetría · 27, 56, 256, 257, 258, 260, 261, 263, 266, 267, 268

terreno · 9, 36, 189, 193, 231, 232, 234, 235, 238, 242, 254, 255, 332,

batería térmica · 263

vector de empuje · 39, 40, 42, 47, 53, 57, 170, 173, 220, 221, 223, 225, 345...

vector de empuje · 34, 53, 74, 90, 118, 219, 281, 282, 283, 291,

titanio · 33, 40, 49, 63, 79, 84, 119, 172, 176, 177

sistema de seguimiento · 260, 261

tungsteno · 41, 172, 174, 175, 292

turbobomba · 97, 40, 53, 59, 76, 77, 78, 79, 80, 287, 292, 342,

U

cerámica de ultra alta temperatura (UHTC) · 171, 172

umbilical · 240, 241, 265

vehículo aéreo no tripulado · 7, 61, 85, 115, 144, 231, 281, 302, 310,

utilizable · 7, 20, 32, 178, 312, 323

V

vapor/deposición de vapor · 153, 154, 167

despegue y aterrizaje vertical · 335

prueba de vibración · 209, 281, 282, 283, 284, 291, 298, 299, 300

W

máquina de tejer · 150, 151

túnel de viento · 224, 227, 228, 229, 284, 285, 286, 295, 296, 299

Z

circonio · 121, 122, 173