TEMA 2. Introducción a los sistemas de guiado y control.

CUD de Zaragoza.

1. Finalidad del sistema de guiado y control.

En este tema se ha extraído la información, fundamentalmente, de las secciones de la 1.7 a la 1.12 de Cucharero (1995) y los capítulos 1 y 2 de ACART-VA-011 (2009). Para los propósitos de este curso, basta con estudiar el texto refundido y resumido que aparece en estas notas, con la salvedad de las últimas secciones que se corresponden con materiales del manual ACART-VA-011 (2009).

El guiado y control del misil consiste en el conjunto de órdenes que tienen como objetivo conducir al misil, modificando y adaptando su trayectoria, desde el punto de lanzamiento hasta el objetivo.

Para que ese guiado pueda realizarse cada misil tiene que tener incorporado un sistema de guía compuesto por elementos ópticos, electrónicos, informáticos, mecánicos (timonería) y otros dispositivos ubicados físicamente en el misil y/o en una estación en tierra, que permitan realizar las funciones siguientes:

- Determinación de la posición del misil y del objetivo, del movimiento relativo entre ambos y, en algunos casos, entre el misil, el puesto de tiro y el blanco. La posición relativa se puede determinar en forma de coordenadas del misil en el sistema de referencia con origen en el blanco (y el fin último sería llegar al punto origen en ese sistema de referencia centrado en el blanco), o bien en forma de ángulos entre una referencia y la línea de situación (LOS, Line-Of-Sight) del blanco con respecto a o bien el propio misil, o bien el puesto de tiro.

- Elaboración de las órdenes correctoras de la posición del misil. Estas órdenes se expresan o bien como aceleraciones que ha de experimentar el centro de masas del misil, o bien como rotaciones que ha de experimentar el misil, entendido como sólido rígido, en torno a ejes de giro que pasan por su centro de masas. Cualquier corrección de una trayectoria, implica un cambio en el vector velocidad y, por lo tanto, una aceleración a ejecutar. Sin embargo, en muchos casos, el misil se limita a cambiar su orientación (de allí que las órdenes se puedan pasar como rotaciones del misil) para que, consecuentemente, lo haga la orientación de las toberas de salida de su motor y la del vector de fuerza de empuje suministrada por el motor.

- Interpretación de las órdenes y accionamiento de las células mecánicas que permiten variar la posición del misil. La ejecución de una orden que implica el imprimir una cierta aceleración y/o rotación al misil, exige que actúe sobre el mismo alguna fuerza y/o momento resultante no nulo [1]. Esto se consigue o bien modificando su configuración aerodinámica (para modificar las fuerzas y momentos aerodinámicos que actúan sobre el misil), o bien modificando el impulso recibido del sistema de propulsión.

[1] Según lo visto en la asignatura de Mecánica.

- Verificación de la exactitud de las acciones emprendidas y corrección de la mismas si fuera necesario. Se trata de una realimentación que compara la respuesta efectivamente realizada en cada paso con la ordenada por el paso anterior para reejecutar nuevas órdenes correctoras que tiendan a reducir a cero la posible discrepancia que haya. Para que la realimentación correctora sea útil, debe operar con un tiempo característico mucho más corto que el de elaboración de órdenes nuevas por el paso previo.

El punto tercero de la enumeración previa, junto con la realimentación que pueda emplear, se corresponde con el sistema de control entendido como un subsistema del sistema de guiado.

2. Diagramas de bloques físicos y funcionales.

La figura 1, que se corresponde con la figura 1.20 de Cucharero (1995), muestra esquemáticamente los componentes físicos de los que un sistema de guía genérico podría disponer para realizar las funciones anteriormente descritas. Es importante destacar que, según la finalidad estratégica y táctica de cada tipo de misil, el sistema de guía tendrá un modo de funcionar diferente (se comunicará con tierra o no, será más autónomo o menos, etc.) y por tanto constará de unos dispositivos u otros, según las necesidades. Todas las funciones mencionadas en la sección previa se tendrán que llevar a cabo siempre, pero de distintas maneras en cada caso y recurriendo a distintos componentes ubicados dentro o fuera del misil. En algunos casos, una función dada del sistema de guía requerirá la existencia de un sistema que desarrolle dicha función de forma específica y dedicada, en otros casos esa misma función será desarrollada de forma implícita por un equipo destinado originalmente a otra función.

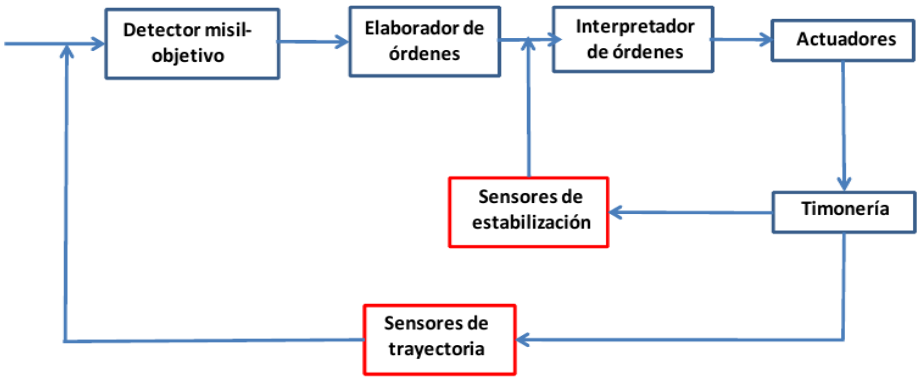


Figura 1: Esquema de los componentes de un Sistema de Guía y Control.

Desde un punto de vista funcional la figura 2, que se corresponde con la figura 1 del capítulo 2 de ACART-VA-011 (2009), muestra las funciones de un sistema de guía interrelacionadas entre sí.

Al comparar las figuras 1 y 2 hay que tener en cuenta algunos puntos.

Lo que en la figura 1 es un componente llamado “detector misil-objetivo” requiere el desempeño de hasta tres funciones distintas: determinar la posición del objetivo, determinar la posición del misil y elaborar una cinemática del movimiento relativo entre el misil y el objetivo. La segunda función, la determinación de la posición del misil, no siempre está presente: en los sistemas con teleguiado, la posición del misil se determina mediante un seguimiento del mismo; en los sistemas con autoguiado

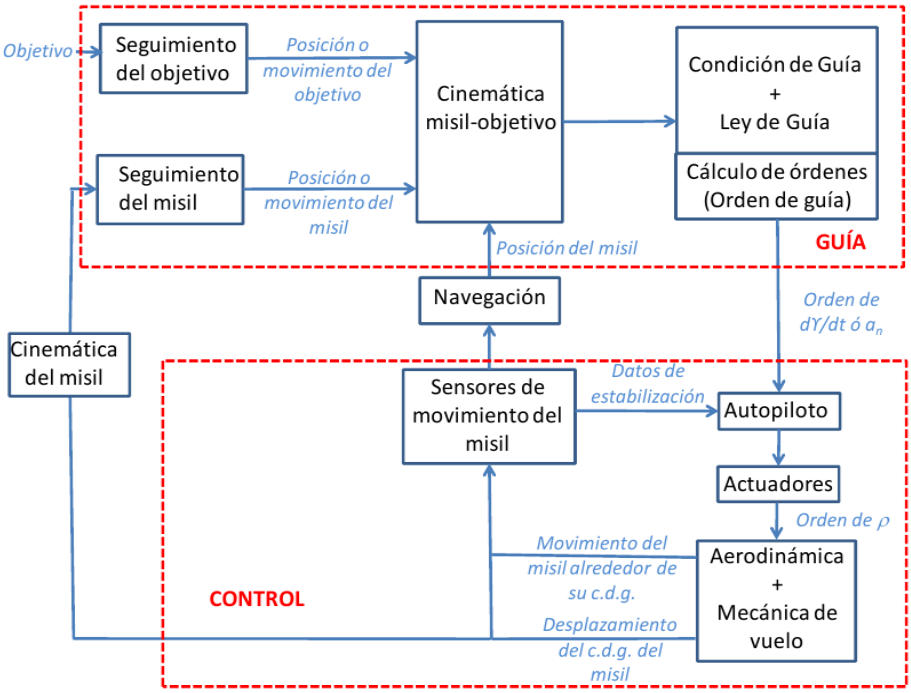


Figura 2: Diagrama de bloques funcionales de un sistema de guía.

indirecto por navegación, la posición del misil se determina a partir de sensores internos al misil con la ayuda de referencias externas mediante métodos de navegación; en los sistemas con autoguiado directo y con autoguiado indirecto por seguimiento de haz, esta función no es necesaria.

Lo que en la figura 2 se referencia como la función llamada "sensores de movimiento del misil" aparece desglosado en la figura 1 como "sensores de estabilización" y "sensores de trayectoria". Las razones de este desdoblamiento obedecen a que en algunos sistemas una misma función puede ser aprovechada para perseguir distintos fines y/o ser realizada por distintos dispositivos. En los sistemas con teleguiado, los "sensores de movimiento del misil" se encargan exclusivamente de suministrar los "datos de estabilización"; mientras que un dispositivo en el puesto de tiro se encarga de seguir la posición del misil y funciona como "sensor de trayectoria". En los sistemas con autoguiado indirecto por navegación los "sensores de movimiento del misil" se encargan de suministrar los datos necesarios tanto para estabilizar (realimentando el sistema de control de modo directo) como de determinar la trayectoria del misil (a través de una integración temporal de la señal). En los sistemas con autoguiado directo y con autoguiado indirecto por seguimiento de haz, basta con que los "sensores de movimiento" suministren los "datos de estabilización"; ya que no se necesita medir la posición del misil para garantizar que éste se dirija hacia el blanco.

3. Descripción de cada elemento del sistema de control.

Repasando las figuras 1 y 2, se puede ver que el sistema de control actúa como un subsistema del sistema de guía, más amplio. Su interacción con el resto del sistema de guiado pasa por la recepción de una señal de entrada, que consiste en la orden recibida del elaborador de órdenes, a la que se responde con un desplazamiento del centro de masas del misil que el elaborador de órdenes habrá de

tener en cuenta para la elaboración de la siguiente orden. Un punto importante a tener en cuenta es que el sistema de control siempre está ubicado en el propio misil; mientras que los demás elementos del sistema de guía pueden estar dentro o fuera del misil.

A continuación, se seguirá el esquema dado por la figura 2 para explicar el funcionamiento del bloque de control.

El **autopiloto** o **intérprete de órdenes** recibe la orden en forma de aceleración y/o rotación a ejecutar y la convierte en un pulso dirigido hacia los actuadores. Estos pulsos pueden ser o bien pulsos eléctricos cuando los actuadores contienen o un motor eléctrico o un electroimán, o bien pulsos de presión cuando los actuadores son neumáticos o hidráulicos.

Los **actuadores** son los encargados de mover la timonería. Normalmente son o servomotores o electroimanes. Pueden actuar o bien controlando un ángulo de gobierno [2], o bien controlando durante cuánto tiempo actúa una tobera secundaria de salida de gases.

En el primer caso, el ángulo de gobierno de la timonería afecta al desvío que experimenta ya bien sea el chorro de aire que rodea externamente al misil, ya bien sea el chorro de gases que sale por la tobera; desvío que se traduce en una fuerza y un momento resultante. Operan, en esta situación, con algún mecanismo de realimentación que compare el giro real de cada timón con el indicado por la acción de mando recibida del autopiloto y que pase esa diferencia como nueva acción de mando sobre el motor encargado de accionar el dispositivo (servomotor) para conseguir que el giro real se corresponda con el ordenado. Para que esta capacidad de corrección sea eficaz, el tiempo de respuesta y el amortiguamiento de las oscilaciones transitorias a que pueda dar lugar el accionamiento de los actuadores ha de ser mucho más corto que el tiempo de respuesta del autopiloto.

Por el contrario, en el segundo caso cuando el actuador sólo puede controlar durante cuánto tiempo actúa cada tobera secundaria, no tiene sentido realimentar al actuador que funciona a ciclo abierto con un relé todo/nada.

La **timonería** es el conjunto de dispositivos cuyo accionamiento da lugar a las fuerzas y torques que modifican la trayectoria del centro de masas del misil y provocan rotaciones del mismo en torno a su centro de masas. Téngase en cuenta que, una rotación del misil en torno a un eje que no coincida con la dirección del vector fuerza de empuje, provoca una rotación en la dirección de dicho vector que se acaba trasladando a un cambio en el sumatorio de fuerzas resultantes que actúan sobre el misil y, por lo tanto, acaba produciendo una aceleración. En todo caso, hay que tener en cuenta que este mecanismo indirecto de modificar la fuerza resultante mediante la rotación de una de las fuerzas componentes no es tan rápido como la acción directa de una fuerza actuando sobre el centro de masas del misil, ya que no actúa a pleno rendimiento hasta que no se haya verificado la rotación del misil.

Hasta aquí se tendría lo que se llama la respuesta natural del misil. El intérprete ha de conocer las propiedades aerodinámicas del misil y la situación de la timonería para poder traducir las órdenes de aceleración recibidas a acciones de giro de la timonería. Si el misil realiza algún movimiento de rotación en torno a su eje principal de simetría (longitudinal) conocido como balanceo, la posición de la timonería relativa a unos ejes alineados con el propio misil cambia con el balanceo y se necesita algún **sensor de rotación** (giróscopo o girómetro) que informe al autopiloto sobre el balanceo experimentado. Según el tipo de control que tenga el misil, el intérprete de órdenes responderá o bien ejecutando maniobras que tiendan a anular el balanceo, o bien ejecutando maniobras que

[2] El ángulo formado entre una célula aerodinámica móvil y el cuerpo principal del misil.

tengan a mantenerlo con una velocidad constante y conocida para poder conocer la posición de la timonería en cada momento mediante una integración temporal de dicha velocidad constante. En todo caso, se trata de un mecanismo de realimentación: existe un sensor que mide el balanceo del misil e informa de su valor al intérprete para que éste produzca pulsos ejecutables por los actuadores con la finalidad de tener el balanceo bajo control.

Cuando se ejecuta una maniobra, la respuesta natural del misil, con el bucle de pilotado funcionando en abierto sin más realimentación que la necesaria para controlar el balanceo, consiste en la superposición de una aceleración estacionaria que se mantiene constante hasta la recepción de la siguiente orden y que debe coincidir con la aceleración ordenada, más una oscilación en torno al valor medio estacionario que se amortigua en escalas del orden de unos pocos segundos en los misiles típicos. Si el blanco está fijo o tiene escasa movilidad, esta respuesta natural puede ser suficiente; sin embargo, frente a blancos con alta maniobrabilidad, como los aviones de combate u otros misiles, los valores naturales son claramente insuficientes: los tiempos típicos de amortiguamiento de las oscilaciones transitorias (unos pocos segundos) son mayores que los intervalos temporales típicos entre ordenes de guiado sucesivas (normalmente entre $0,5$s y 1s), por lo que un misil con respuesta natural no estaría, en la práctica, ejecutando las órdenes recibidas y su trayectoria no acabaría conduciéndole a una colisión con el blanco. Interesa reducir el tiempo necesario para amortiguar las oscilaciones que, superpuestas a la respuesta estacionaria, siempre aparecen.

Esto se consigue con **sensores internos de estabilización** que miden los movimientos realmente efectuados por el misil y los comparan con los ordenados por el elaborador de órdenes. Los sensores internos son de tipo inercial y pueden medir o bien todos los giros (giróscopos) experimentados por el misil, no sólo el balanceo, o bien medir las aceleraciones (acelerómetros) experimentadas por el centro de masas del misil. Sus medidas se comparan con las que el misil debería experimentar si la maniobra ordenada se estuviese ejecutando a la perfección y la diferencia entra al intérprete de órdenes como orden nueva. Para que el sistema sea eficaz, los tiempos de respuesta tanto del intérprete de órdenes, como de los sensores encargados de efectuar las medidas han de ser mucho menores que los tiempos entre órdenes de guiado sucesivas suministradas por el elaborador. A través de estos sensores de estabilización, se cierra el bucle de pilotado.

Para obtener la aceleración en un sistema de referencia inercial [3] o bien los acelerómetros van montados sobre una plataforma giroestabilizada, o bien, junto con la señal de los acelerómetros, que van unidos al fuselaje del misil, se recibe una señal sobre su velocidad angular de modo que se pueda restar la componente centrífuga a la señal de los acelerómetros para obtener la aceleración inercial. Hay que destacar que, debido al principio de equivalencia: "un sistema físico inmerso en un campo gravitatorio es puntualmente indistinguible de ese mismo sistema en el seno de un sistema de referencia no inercial acelerado", la señal de los acelerómetros incluye el efecto de la gravedad, que se debe restar siempre (incluso en aquéllos que estén giroestabilizados).

En cuanto a la determinación de la posición angular, se pueden emplear o bien giróscopos de posición que miden el ángulo entre el fuselaje del misil y una referencia inercial, o bien giróscopos de velocidad (girómetros) que miden la velocidad angular del fuselaje con respecto a una referencia inercial. Si se conoce la posición angular inicial, los giróscopos de velocidad permiten calcular la posición angular en todo momento mediante una integral temporal simple. Los girómetros son más precisos que los giróscopos de posición, por lo que son los que se emplean de forma mayoritaria en

[3] En la asignatura de Mecánica se hablaba, a veces, de "ejes fijos".

la actualidad.

Todos los misiles llevan algún dispositivo de medida de ángulos, aunque sólo sea para estabilizar el balanceo (véase la sección 5); pero sólo los que requieran de o bien altas capacidades de maniobra, o bien un guiado inercial, incorporan acelerómetros.

Las escalas de tiempos características que se han analizado hasta ahora se pueden comparar resumidamente diciendo lo siguiente: los actuadores deben tener tiempos de respuesta menores que el intérprete de órdenes y los sensores de estabilización y éstos, a su vez, deben tener un tiempo de respuesta menor que el elaborador de órdenes.

4. Origen físico de los errores en la trayectoria ejecutada.

En cuanto al origen de los errores en la trayectoria realmente ejecutada con respecto a la ordenada, éstos pueden tener múltiples orígenes:

- Perturbaciones externas (turbulencias atmosféricas). Si son de periodo corto en comparación con la actuación del elaborador de órdenes, su efecto lo corrige el sistema de control; si son de periodo largo, su efecto lo corrige el propio elaborador de órdenes.

- Movimientos oscilatorios de periodo corto en comparación con la actuación del elaborador de órdenes que aparecen en la respuesta a una orden dada como movimiento superpuesto al pretendido. Recuérdese el ejemplo de los muelles estudiados en la asignatura de Física I: frente a una perturbación no se dirigen hacia la nueva situación de equilibrio, sino que la atraviesan con velocidad no nula y se ponen a oscilar en torno a ella. Se trata de un tipo de respuesta natural en gran cantidad de sistemas mecánicos. El sistema de control ha de ser capaz de compensar estos efectos.

- Movimientos oscilatorios de periodo largo en comparación con la actuación del elaborador de órdenes que intercambian la energía mecánica entre sus formas potencial y cinética como respuesta a los cambios en la sustentación aerodinámica del misil. Un incremento de la sustentación va acompañado de un aumento de la energía potencial a costa de la cinética, al reducirse la velocidad disminuye la sustentación y se produce una pérdida de altura con lo que la energía potencial se convierte en cinética y, al crecer la velocidad, vuelve a aumentar la sustentación y a repetirse el ciclo. Puesto que el periodo de este fenómeno es mayor que el periodo de actuación del elaborador de órdenes, se puede descargar al sistema de control de la obligación de compensar estas oscilaciones y confiar en que el propio sistema de guiado al ir dirigiendo el misil hacia el blanco de acuerdo a su trayectoria en el instante de elaboración de la orden sea capaz de compensar este efecto. Este movimiento cíclico se conoce como **fugoide**.

- Efectos físicos no incluidos en el cálculo de la trayectoria: variación de la gravedad con la altura, aparición de fuerzas aerodinámicas secundarias como resultado de la respuesta primaria buscada, falta de alineamiento entre la propulsión y la célula aerodinámica, ... Si son de periodo largo, el propio sistema de guiado es capaz de compensarlos; si son de periodo corto, el sistema de control ha de ser quien los compense.

5. Descripción de cada elemento del sistema de guiado.

El **detector misil-objetivo** se encarga de captar la posición relativa misil-blanco, transmitiéndola al elaborador de órdenes. Puede ser activo (radiando o iluminando al blanco para recoger la

respuesta) o pasivo (recoge una señal emitida por el blanco sin necesidad de iluminarlo). Asimismo, puede estar ubicado en tierra o en el propio misil. El funcionamiento del detector puede basarse en uno o varios de los siguientes sistemas de radiación: radio (radar), infrarroja (cámara térmica o láser), espectro visible (cámara de TV), ultravioleta (detector de llamas), ultrasonidos (usado en torpedos).

El objetivo debe ser seguido siempre y su posición se puede determinar o bien en función de sus coordenadas, o bien del ángulo que forma su LOS con respecto a o bien el eje longitudinal del misil, o bien un sistema de referencia inercial. También se puede proporcionar la distancia misil-objetivo o su variación con respecto al tiempo si el sensor es activo o semi-activo (efecto Doppler) [4]. Para objetivos estacionarios, el seguimiento del objetivo se limita a almacenar en memoria las coordenadas del blanco.

La determinación de la posición del misil, realizada por los **sensores de trayectoria** no siempre es necesaria. Cuando se mide, se pueden emplear o bien los mismos sensores que siguen al blanco, o bien otros diferentes.

Finalmente, a través de la función "cinemática misil-objetivo" se determina o bien el movimiento relativo entre el misil y el objetivo, o bien el movimiento relativo de ambos con respecto a una referencia común en tierra (teleguiado directo).

El **elaborador de órdenes** calculará las correcciones necesarias para mantener al misil en la trayectoria correcta. Este procesador puede estar ubicado en el misil o en la estación de tierra. Opera a partir de la información que recibe sobre la posición relativa entre el misil y el objetivo, aplicando unas determinadas funciones llamadas "condición de guía" y "ley de guiado" para obtener la "orden de guía" que ha de ejecutar el misil. Las órdenes de guía se expresan o como aceleraciones que ha de experimentar el c.d.g. del misils, o como velocidades angulares de rotación del mismo con respecto a un sistema de referencia inercial.

El **sistema de control** estudiado con más detalle en la sección 3. Como elemento constitutivo del sistema de guiado, dejando al margen su estructura interna ya vista en esa sección, se puede decir que es el encargado de traducir las órdenes recibidas a desplazamientos reales finalmente ejecutados por el centro de masas del misil.

Los **sensores de trayectoria**, véase la figura 1, cierran el bucle de guiado. Su objetivo es que el elaborador de órdenes pueda corregir la trayectoria teórica con información sobre la trayectoria real que se está siguiendo, de forma que el misil siga al objetivo de acuerdo con la ley de guiado establecida.

En los sistemas con teleguía directa y algunos de teleguía indirecta, la posición del misil se sigue o bien mediante dispositivos similares a los empleados para seguir al blanco, o bien mediante radiobalizas situadas en el misil que envían una señal hacia el puesto de tiro.

En los sistemas con autoguía directa, autoguía indirecta por seguimiento de haz y algunos de teleguía indirecta no es necesaria la existencia de unos sensores de trayectoria que determinen la posición del misil. A lo sumo, se añade un altímetro para evitar colisiones con el terreno en el caso de que se tenga que realizar un vuelo a baja altura.

En los casos anteriores, se necesita una mínima función de navegación que aprovecha las lecturas

[4] En la asignatura Física II se estudió el efecto Doppler para ondas mecánicas. Salvo si se está operando con ultrasonidos en el agua, lo normal es iluminar el blanco con ondas electromagnéticas para las que las fórmulas del efecto Doppler son distintas a las vistas en esa asignatura ya que se debe tener en cuenta la relatividad especial.

de los dispositivos de estabilización para suministrar un sistema de referencia libre de la rotación que el cuerpo del misil pueda tener en torno a su eje longitudinal (balanceo o roll). Se persiguen dos fines con esta navegación mínima: disponer de un sistema de referencia libre del balanceo en el que determinar el ángulo que forma la LOS misil-blanco [5] y poder determinar la posición exacta de la timonería, que se ve arrastrada por el balanceo del misil como un todo, en cada momento. El conocimiento de la posición de la timonería se necesita para determinar la acción exacta a realizar. En cuanto al mecanismo por el que opera esta función de navegación mínima: si los dispositivos de estabilización miden ángulos girados por el misil con respecto a una referencia inercial que, normalmente, se fija en el momento del lanzamiento, se toma su señal de salida; por el contrario, si los dispositivos de estabilización miden velocidades angulares de rotación del misil, se integra en el tiempo su señal de salida.

En los sistemas con autoguía indirecta por navegación, hace falta que los sensores de trayectoria internos al misil describan completamente la posición del mismo. Para ello, se necesitan conocer las coordenadas de su c.d.g., (3 grados de libertad, g.d.l.) y los ángulos que forma el cuerpo del misil con un sistema de referencia inercial (3 g.d.l.). Se habla así de seis grados de libertad. Conocida la posición inicial del c.d.g. del misil, se puede determinar su posición en todo momento a partir de la integración doble en el tiempo del vector aceleración sobre los tres ejes de un sistema de referencia inercial. Cada componente del vector aceleración se mide con un acelerómetro distinto. Del mismo modo, conocida la orientación inicial del misil en un sistema de referencia inercial, se puede determinar su orientación en todo momento mediante la integración primera en el tiempo del vector velocidad angular medido mediante tres giróscopos de velocidad que, por su mayor precisión, son los que se emplean para un guiado por navegación. En este tipo de sistemas con guiado por navegación inercial, se requiere un instrumental de medida con una precisión mucho mayor que la requerida para estabilizar la trayectoria; por ese motivo, la misma señal que sirve para medir la trayectoria, tras integrarla, se aprovecha como señal de estabilización en el bucle de control. En este caso, el "sensor de trayectoria" sirve también como "sensor de estabilización".

El **sistema de transmisión de la información** no aparece explícitamente en las figuras; pero es necesario si el misil no transporta el sistema detector o el elaborador de órdenes. Los más usados son: electromagnético (radio), infrarrojo (láser), óptico (luz visible), hilo (metálico o de fibra óptica).

6. Uso táctico de los misiles según su sistema de guiado.

Se trata de la sección 1.2 de ACART-VA-011 (2009) que hay que estudiar en dicha referencia.

7. Resumen comparativo de cada uno de los sistemas de guía.

La referencia fundamental es la sección 1.3 de ACART-VA-011 (2009), resumida en las tablas que aparecen en las figuras 3 y 4, que son el único material de estudio imprescindible.

[5] Del mismo modo que resulta más sencillo expresar el movimiento de la Tierra como una rotación en torno al Sol que al revés; también resulta más sencillo determinar el movimiento relativo misil-blanco una vez que se le ha extraído la componente debida al balanceo del misil que suponer que el misil está quieto y el blanco, en su movimiento, se dedica a rotar en torno al misil.

8. Relación entre alcance, precisión, carga de guerra y tamaño del objetivo.

Se trata de la sección 1.4 de ACART-VA-011 (2009) que hay que estudiar en dicha referencia.

Referencias

ACART-VA-011 (2009). *ACART-VA-011. Unidad didáctica II. Sistemas de guía y control*. MADOC. Ministerio de Defensa, Biblioteca virtual del MADOC.

Cucharero, F. (1995). *Guiado y control de misiles*. Ministerio de Defensa, Madrid.

Tipo de sistema.	**Ventajas.**	**Inconvenientes.**
Teleguiado en general.	Menor precio y volumen.	El sistema en tierra debe emitir continuamente hasta el final de la misión, por lo que:
	Mayor capacidad de cálculo y de circuitería.	- es más fácil de saturar. - existe vulnerabilidad en el enlace a tierra.
Teleguiado directo.		Limitación de alcance por la precisión angular del sistema de medida basado en tierra. La distancia de paso crece con la distancia al puesto de tiro para un mismo error angular.
Teleguiado directo manual.	Simple y barato.	El operador debe recibir un entrenamiento intenso y costoso.
	Resistente a las contramedidas electrónicas.	El operador actúa bajo presión de combate.
Teleguiado directo semiautomático.	Simple y barato. Operadores menos entrenados.	Hay que verificar regularmente el alineamiento entre el visor y el sistema de seguimiento del misil.
		El operador actúa bajo presión de combate.
		La señal de la baliza del misil puede ser atacada con contramedidas electrónicas.
		El empleo de visores y sensores ópticos imposibilita su uso "todo tiempo".
Teleguiado directo automático.	No hay necesidad de que intervenga un operador.	Cuando el seguimiento del objetivo es activo (radar, laser) se incrementa la vulnerabilidad por ser más fácil de detectar.
		Cuando el sistema utiliza el mismo sensor para misil y objetivo, se condiciona la trayectoria que se puede seguir.
Teleguiado indirecto.	Medidas de ángulos y distancias desde el propio misil, siempre se tiene la posición relativa misil-objetivo.	Gran velocidad de transmisión de datos para enviar la posición relativa misil-objetivo a tierra y recibir las órdenes de guía.
	Aumenta la precisión cuando el misil se aproxima al objetivo y permite el tiro tras el horizonte (NLOS).	
	Permite usar trayectorias de colisión puesto que se puede determinar la posición del misil y la del objetivo a partir de los datos de posición relativa.	

Figura 3: Ventajas y desventajas de los sistemas con teleguía.

Tipo de sistema.	**Ventajas.**	**Inconvenientes.**
Autoguiado directo.		Solamente se conoce el ángulo que forma la LOS con una línea de referencia inercial y la velocidad relativa misil-objetivo cuando el sensor es de tipo radar. Trayectorias posibles condicionadas por los datos disponibles.
Autouiado directo activo.	Tipo "dispara y olvida".	Misil voluminoso e indiscreto. Fabricación complicada.
	Todo blanco, todo tiempo.	Relativo corto alcance.
	Alta precisión.	Sensible a interferencias.
Autoguiado directo semiactivo.	Mayor alcance por mayor potencia del iluminador.	Lanzador comprometido hasta el impacto.
	Misil relativamente simple.	Condicionado al horizonte del iluminador (obstáculos).
		Es necesario codificar la señal enviada por el iluminador.
Autoguiado directo pasivo.	Misil pequeño y simple.	Efectos atmosféricos importantes.
	Tipo "dispara y olvida".	Alcance relativamente corto.
		Sólo es válido para objetivos con características específicas.
Autoguiado indirecto.	Navegación inercial apropiada para objetivos extensos donde la precisión no es tan importante.	Los de haz deben seguir una trayectoria de alineamiento.
		Los de haz requieren iluminación continua del objetivo.
		Los de haz son más fáciles de saturar pues cada puesto de tiro sólo puede seguir un objetivo.
		Los de navegación inercial son menos precisos. Útiles en combinación con otro sistema que permita corregir su error en sistemas de largo alcance.

Figura 4: Ventajas y desventajas de los sistemas con autoguía.