

D. F. 1130 P. 1161 DCS

LOS PROYECTILES DIRIGIDOS Y SUS SISTEMAS DE GUIA

Traducción del libro FIRE CONTROL TECHNICAL



Capitán de Corbeta GABRIEL DIAZ R.

Introducción. La componente de guía y control de cualquier proyectil dirigido determina la ruta de vuelo apropiada para encontrar el blanco y controla que el proyectil siga esta ruta.

Se cumple este "control de ruta" con los procesos: (1) De traqueo (tracking) en el cual las posiciones del blanco y el proyectil se determinan continuamente. (2) De cálculo, en la cual con la información de traqueo se determi-

nan las direcciones necesarias para el control. (3) De dirección, en la cual las direcciones se envían a las unidades de control y (4) De gobierno, la cual es el proceso de emplear las señales de dirección para mover las superficies de control de proyectil con unidades de potencia. Los tres primeros procesos del control de ruta son efectuados por el sistema de guía y el gobierno por el sistema de control.

Con el propósito de que estos procesos se cumplan el proyectil debe estar en un vuelo estable. Esto es, el proyectil debe ser capaz de desarrollar fuerzas que lo restauren a su dirección y nivel de vuelo cuando sea perturbado por alguna influencia exterior, como por ejemplo: una ráfaga de aire. El control de la estabilidad del proyectil se llama control de altura y normalmente es efectuado por un Autopiloto, el cual es parte del sistema de control.

Fases de la guía. La guía de los proyectiles se puede dividir en tres fases: lanzamiento, curso medio y fase final. En la fase de lanzamiento, el proyectil es llevado a una velocidad y posición apropiada de manera que la fase de curso medio o final pueda asumir el control. La fase de curso medio es la mayor del ciclo de guía de manera que en esta parte se hacen la mayoría de las correcciones para cambios de rumbo. La fase final, la cual ocurre cuando el proyectil se aproxima al blanco requiere mucha precisión ya que este puede tener que hacer giros agudos y caer bajo aceleraciones altas, especialmente contra blancos móviles.

En algunos proyectiles se puede emplear un sistema simple de guía y control para las tres fases, en otros, se pueden emplear para cada fase diferentes sistemas de guía en conjunto con un sistema simple de control. También, se puede emplear un sistema separado de guía y control para cada fase. Un proyectil simple puede utilizar una de las muchas combinaciones de

los sistemas básicos de guía. Estos tipos de sistemas básicos se dividen en cuatro grupos: (1) Auto contenidos, (2) Haz jinete y comando (bean rider and comand) (3) Línea base y (4) Homing o mensajero.

Sistemas guías auto contenidos. El grupo auto-contenido consiste del sistema guía en el cual la inteligencia está toda dentro del proyectil. Algunos de los sistemas de este tipo son: **Predeterminado, Terrestre, Inercia y Navegación Celeste.** Estos sistemas son empleados principalmente en los proyectiles superficie superficie y las contrametidas son inefectivas contra ellos.

Sistema predeterminado. Un proyectil equipado con un sistema de guía predeterminado sigue una ruta de vuelo predeterminada y es controlado por un mecanismo dentro del proyectil el cual no puede ser corregido después del lanzamiento. Este mecanismo usualmente un aparato de movimiento regular ajustado de acuerdo a calculos de la distancia y la deriva del viento, hechos desde una posición conocida del blanco con respecto al punto de lanzamiento.

Un ejemplo típico del sistema predeterminado eran las V-2 Alemanas, en donde el alcance y la marcación del blanco fueron predeterminados y ajustados dentro del mecanismo de control. El sistema predeterminado es relativamente simple comparado con los otros tipos, es confiable y no requiere graficación o visibilidad. Pero debido a su pobre precisión a causa de que las condiciones a lo largo de su ruta de vuelo no

son siempre las mismas estimadas y como la ruta de vuelo no se puede corregir después del lanzamiento, el sistema predeterminado tiene limitada aplicación en los proyectiles dirigidos actuales.

Sistema Terrestre. El sistema de guía terrestre o magnético es similar al predeterminado en que un rumbo predeterminado se fija dentro del proyectil antes del lanzamiento pero con la adición de un aparato magnético dentro del proyectil, v.g., un compás magnético dentro del proyectil, que monitoriza la ruta de vuelo, e inicia correcciones si el proyectil se desvía de ella. Las V-1 alemanas emplearon este tipo de guía en compañía de un barómetro para controlar la altura y una corredera de aire conectada a una hélice para controlar el alcance. La precisión del sistema magnético es mayor que la del sistema prefijado, pero la deriva del viento puede causar grandes errores porque el proyectil puede mantener la misma dirección y aun así estar desviado del rumbo.

Sistema de Inercia. En el sistema de guía por inercia (empleado en los proyectiles Polaris) un rumbo predeterminado es ajustado después del lanzamiento por medio de instrumentos dentro del proyectil, el cual hace uso de la segunda ley de Newton para el movimiento. Esta ley que relaciona aceleración, fuerza y masa, establece que la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa del cuerpo. Estos aparatos; usualmente tres integradores aceleró-

metros, continuamente miden la distancia navegada por el proyectil en tres direcciones: distancia, altura y azimut. Los integradores acelerómetros son instrumentos dobles sensitivos a la aceleración y por proceso de doble paso miden distancia. Estas distancias medidas son comparadas con las distancias deseadas, las cuales están prefijadas dentro del proyectil, si este se encuentra fuera de rumbo, señales de corrección se envían al sistema de control.

Los tres acelerómetros normalmente se ajustan con el eje sensitivo de uno de ellos vertical y los otros dos en el plano horizontal, uno a lo largo de la ruta de vuelo y el otro en ángulo recto a esta. La salida del que está a lo largo de la ruta de vuelo es la distancia navegada en alcance. Si la salida del que está en ángulo recto a la ruta de vuelo se mantiene en cero controlando el proyectil, entonces este se encuentra en la ruta deseada en azimut. En algunos sistemas la función del acelerómetro vertical, el cual mantiene al proyectil en la altura deseada es ejecutada por un altímetro barométrico.

Los acelerómetros son sensitivos a la aceleración de la gravedad lo mismo que la aceleración del proyectil. Por esta razón los acelerómetros que miden alcance y distancia del azimut deben ser montados en posiciones fijas con respecto a la fuerza de gravedad. Esto se puede hacer en un proyectil en movimiento, montádoles sobre una plataforma la cual es estabilizada por

giróscopos o telescopios graficadores de estrellas.

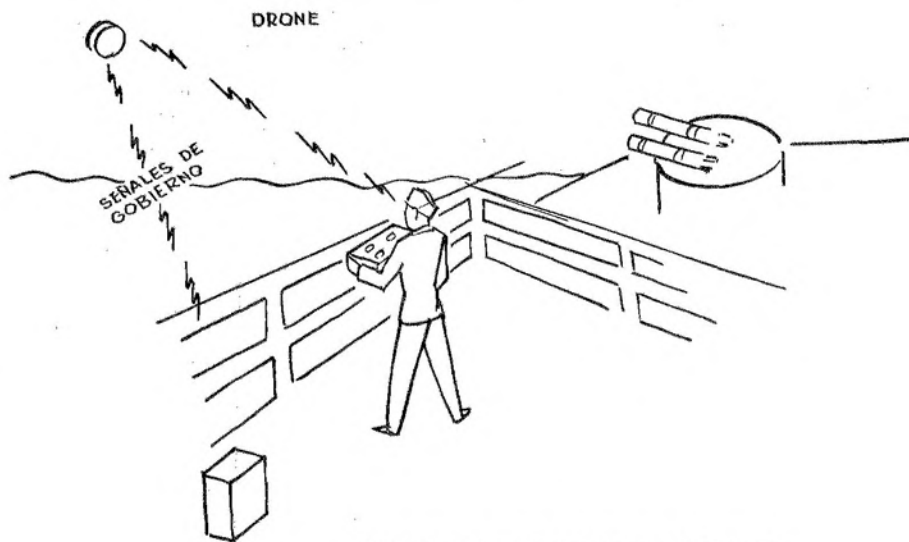
Esta plataforma, sin embargo, se debe mover a medida que el proyectil pasa sobre la tierra para mantener el eje sensitivo de cada acelerómetro en una posición fija con respecto a la fuerza de gravedad.

Estos requerimientos hacen que la precisión del sistema de inercia disminuya a medida que el vuelo del proyectil aumenta.

Sistema de Navegación Celeste. En este sistema, observaciones celestes se emplean para navegar el proyectil en una ruta predeterminada. Estas observaciones son hechas por un instrumento en el proyectil, como un telescopio de posición automática y las medidas leídas son comparadas con los

valores prefijados para determinar si el proyectil está en el rumbo. La precisión de este sistema es independiente del alcance. Haciéndolo deseable para los proyectiles de largo alcance. En el sistema de proyectiles algunos instrumentos deben observar las estrellas y calcular las posiciones continuamente en forma automática. Este requisito significa que el proyectil debe llevar equipos complicados y debe volar sobre las nubes para asegurar visibilidad a las estrellas.

Sistema de Guía Haz Jinete y Comando. Este grupo lo componen el sistema Haz Jinete, el sistema de Comando y modificaciones del anterior. Estos sistemas se pueden usar para guiar en el curso medio o final dependiendo del alcance. Son usados principalmente contra blancos aéreos.



SISTEMA DE COMANDO HUMANO PARA BLANCO DRONE

Figura No. 1

Sistema de Comando. Un sistema guía de Comando es aquel en el cual órdenes en dirección se envían al proyectil desde una fuente externa. El proyectil únicamente ejecuta estas órdenes. Un sistema de comando simple se muestra en la figura N° 1. Este sistema se emplea para controlar los blancos Drones empleados en los ejercicios de artillería Antiaérea.

En este sistema el operador visualmente observa el Drone (traquea) y mentalmente decide los cambios necesarios en rumbo, velocidad y elevación (Computación) entonces se envían por radio al Drone (dirección) en donde se reciben y por medio de un sistema de control el Drone ejecuta la maniobra deseada (gobierno). En un sistema de comando empleado para proyectiles Superficie Aire, dos radares y un computador reemplazan al operador humano del sistema Drone. Un radar traquea o grafica el blanco y el otro el rumbo del proyectil. El computador recibe los sistemas de datos de traqueo y da órdenes de modo que el proyectil haga colisión con el blanco o pase cerca del alcance letal de su cabeza de guerra. Las señales de comando se pueden enviar al proyectil por medio de radio o por medio del radar de traqueo del proyectil.

El equipo dentro del proyectil es comparativamente simple consistiendo de un receptor y un sistema de control. El equipo a bordo sin embargo, es grande y complejo. Otro tipo de sistema de Comando emplea un aparato de televisión en la nariz del proyectil, el cual envía a la estación de tierra

un retrato del blanco. Y un operador envía órdenes al proyectil para hacer las correcciones necesarias en la ruta de vuelo. Este tipo de guía Comando se puede emplear en proyectiles Superficie-Aire, Aire-Aire, o Aire-Superficie.

Sistema haz jinete (beam rider). En el sistema de guía de Haz Jinete mostrado en la figura 2, un mecanismo dentro del proyectil lo mantiene centrado dentro de un haz de radar y envía las señales necesarias al sistema de control para mantenerlo en el haz apuntando al blanco y, si se desea, varios proyectiles pueden cabalgar en el haz simultáneamente. La precisión de este sistema disminuye con la distancia porque el haz de radar se expande y es más difícil para el proyectil permanecer en su centro.

El equipo de control de tiro para el sistema Haz Jinete es menos complejo que el del sistema de comando, mientras que el equipo dentro de los proyectiles es más complejo. Una desventaja del sistema Haz Jinete es la de que el proyectil debe seguir una ruta de cambios continuos lo cual motiva que este reciba aceleraciones transversales excesivas.

Una variación del Sistema Haz Jinete llamado **Haz Jinete Modificado** emplea dos radares y un computador para solucionar los problemas de altas aceleraciones encontradas por el proyectil. En este sistema, mostrado en la figura 3, el radar de traqueo del blanco alimenta con datos de este al computador, el cual calcula un punto de colisión en donde el proyectil in-

SISTEMA GUIA HAZ JINETE SIMPLE

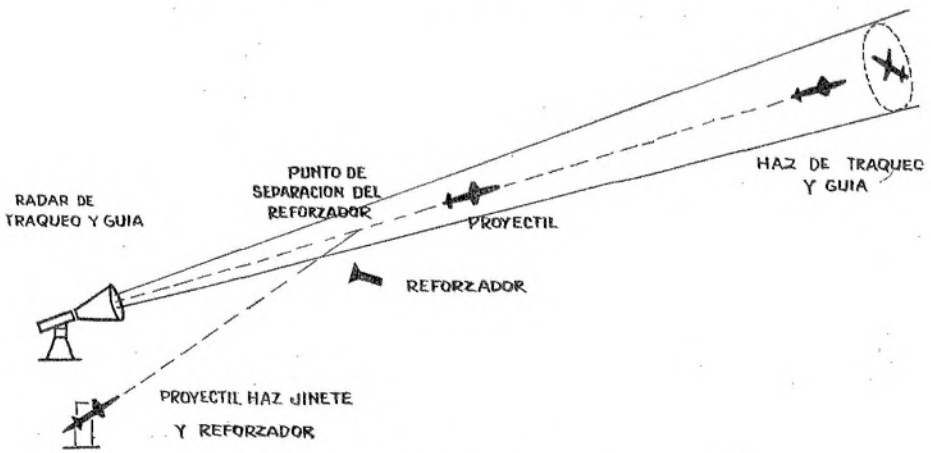
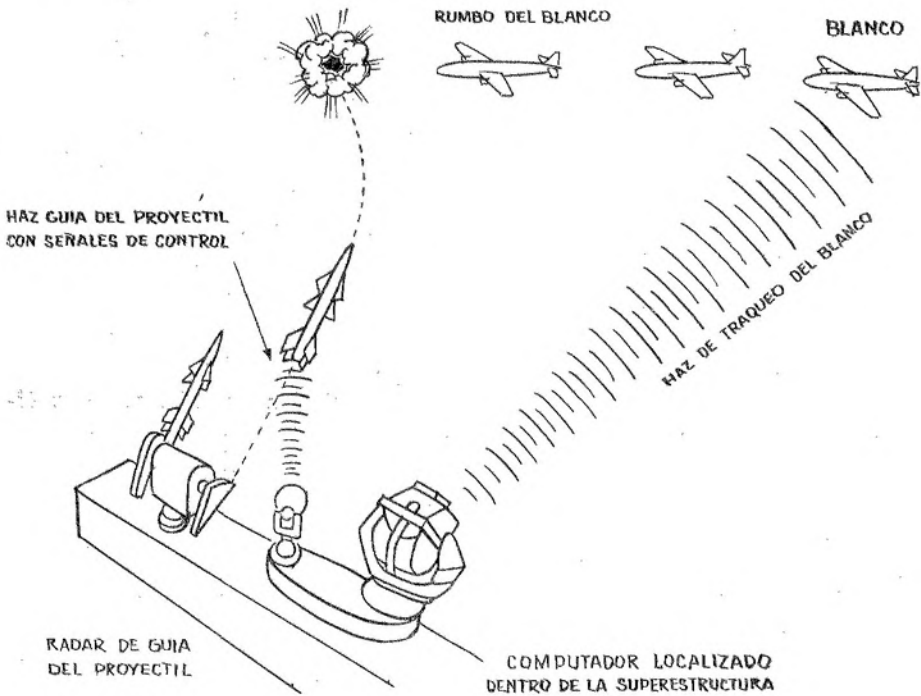


Figura No. 2



SISTEMA HAZ JINETE MODIFICADO

Figura No. 3

terceptará al blanco. El segundo radar se apunta hacia el punto predicho de colisión y el proyectil sigue este haz. Si el blanco no maniobra y el cálculo del punto de colisión es correcto, el proyectil va en una línea rumbo recta, eliminando así las aceleraciones excesivas del sistema Jinete simple. El sistema haz jinete modificado es similar al sistema de guía comando, en las órdenes que se emplean para posicionar la antena del radar de haz guía y así dirigir el proyectil hasta el punto de colisión predicho.

Ambos, el haz jinete y el haz jinete modificado, son especialmente aplicables a los proyectiles Superficie-Superficie; sin embargo, con ciertas modificaciones se pueden emplear para otras aplicaciones. Por ejemplo, un haz jinete se puede usar para proyectiles lanzados desde el aire, aunque el haz jinete requiere equipo demasiado

grande y complejo para las aplicaciones aéreas.

Sistema de Guía Línea Base. Los sistemas de guía Línea Base usan la diferencia de tiempo entre dos señales de radio para conducir el proyectil en una ruta deseada. Las señales son transmitidas simultáneamente desde dos estaciones base como se muestra en la figura 4 y llegan al proyectil a diferentes tiempos. Un instrumento dentro del proyectil emplea esta diferencia de tiempo de arribada para controlar la posición del proyectil en azimuth.

Un rumbo o curso con una diferencia de tiempo constante seguirá una línea curva, llamada hipérbola, la cual se dobla hacia afuera desde la línea central. En las aplicaciones tácticas la curva de diferencia de tiempo que pasa sobre el blanco es seleccionada y el equipo del proyectil es ajustado

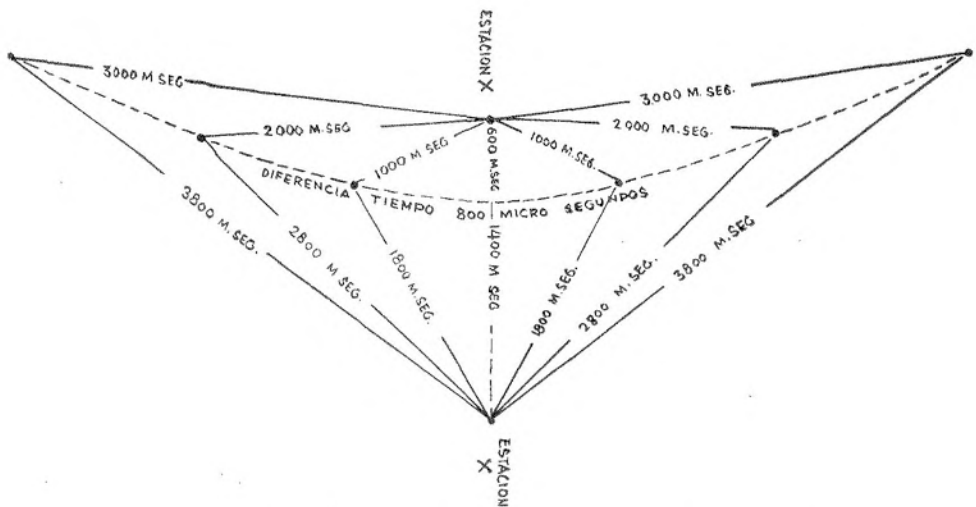


Figura No. 4 - SISTEMA GUIA LINEA BASE

tado para navegar a lo largo de esta curva. Un ejemplo del sistema de navegación de línea base es el **Loran**, el cual es un sistema de navegación hiperbólico para largo alcance. Este sistema guía es el mejor diseñado para los misiles de largo alcance en la fase de curso medio ya que el sistema provee control de azimuth y únicamente se requiere equipo adicional para controlar la altura y el alcance del proyectil. El equipo de tierra es grande y complejo siendo susceptible de radio interferencia y jamming.

Sistema de Guía Homing (mensaje-ro). El sistema de guía Homing controla la ruta del proyectil con un mecanismo en el proyectil que reacciona a alguna característica distintiva del blanco; el instrumento homing, usualmente localizado en la nariz, detecta algún tipo de radiación emitida por el blanco. El sistema de guía usa alguna forma de lobulación y exploración de haz para generar señales de dirección en error. Lobulación y exploración de haz son los métodos de determinar la dirección de los ecos y son usados comúnmente en el radar de control de tiro. La radiación que el instrumento homing detecta puede ser en forma de calor, luz, radio o radar. Pudiendo ser generada por el blanco o por alguna fuente externa y reflejada por el blanco. Los sistemas homing se dividen en tres tipos, dependiendo de la fuente de radiaciones del blanco. Estos tipos son: **Homing Activo**; en el cual la fuente que ilumina el blanco y el reflector que detecta el blanco (eco) se llevan en el proyectil; el

Homing Semiactivo, en el cual el blanco es iluminado desde una fuente fuera del proyectil y el receptor del proyectil utiliza los reflejos del blanco; el **Homing Pasivo**, en el cual el reflector del receptor en el proyectil detecta la radiación natural del blanco. Los tipos activo y semiactivo, generalmente usan el radar y el tipo pasivo emplea el calor o la luz y en algunos casos siguen una transmisión de radio o radar. El homing es el más preciso de todos los sistemas de guía. Su alta precisión se demuestra cuando se emplea contra blancos móviles. Hay varias maneras como el aparato homing controla la ruta de proyectil hacia un blanco móvil. De estos los empleados más comúnmente son el homing de persecución y el homing adelantado.

El homing de persecución. En el homing de persecución el sistema de guía obliga al proyectil a apuntar hacia el blanco constantemente. El instrumento homing apunta directamente a la proa y mantiene la proa del proyectil en la dirección del eco del blanco. Un proyectil volando un curso de persecución experimenta en aumento grandes aceleraciones debido a los virajes de la última porción del rumbo, como se muestra en la figura 5. Esta parte de la ruta de vuelo es la más crítica y a menos que el blanco sea grande o vuele en rumbo de colisión, la precisión se reduce enormemente. Como consecuencia el homing de persecución no tiene muchas aplicaciones contra blancos de alta velocidad. El homing adelantado;

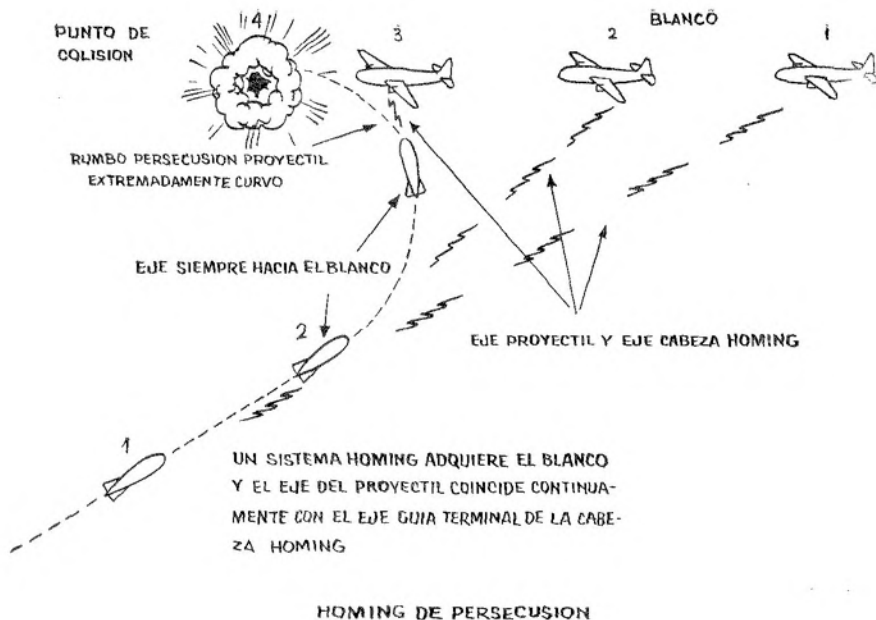
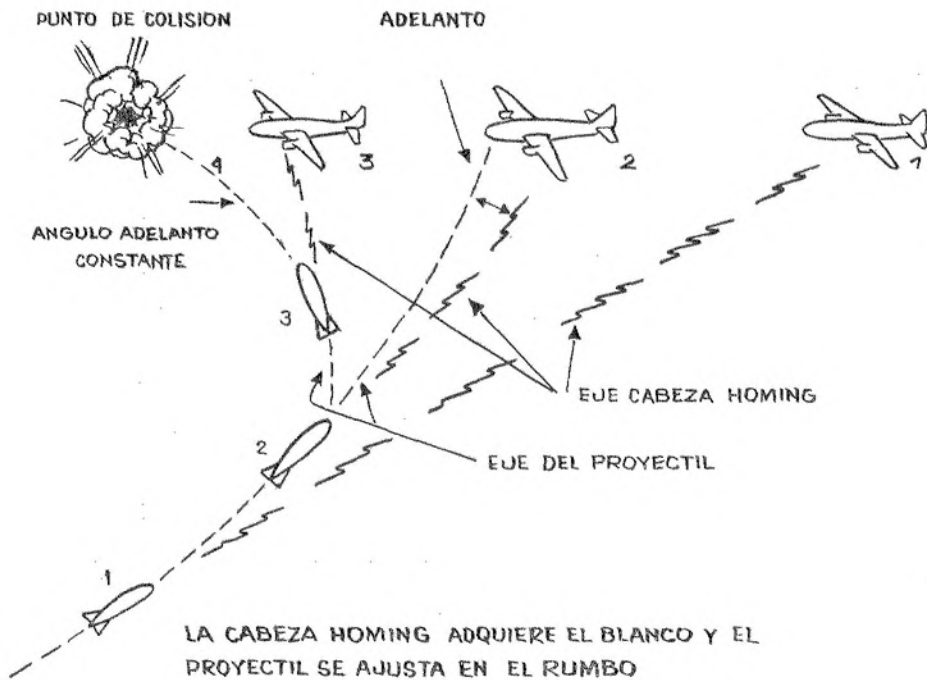


Figura No. 5

un rumbo de adelanto se establece cuando el rumbo del proyectil se mantiene, a un ángulo constante con la ruta del blanco. En el homing adelantado, el sistema guía establece un ángulo de adelanto con el blanco y mantiene este ángulo constante de modo que el proyectil viaja directamente a un punto de colisión, como se muestra en la figura 6. Esto permite que el proyectil complete la parte final y crítica de su ruta de vuelo como una línea recta. Para efectuar este rumbo es necesario que el sistema de guía mida la rata a la cual el ángulo cambia. Esto puede ser efectuado teniendo el instrumento homing apuntado hacia el blanco y cualquier cambio en la dirección del blanco desde el proyectil obliga al instrumento homing a

virar. La rata a la cual él gira se puede medir con giróscopo de rata. Estas funciones adicionales, requieren que el sistema homing para un rumbo de adelanto sea más complejo que un sistema para un rumbo de persecución. Unas de las limitaciones de los sistemas homing es el alcance. Además, los instrumentos homing deben tener sensibilidad direccional de modo que no se confundan con blancos múltiples. A causa de estos problemas es necesario colocar el proyectil en la vecindad del blanco y apuntarlo hacia él. Esto puede requerir que la parte inicial del rumbo sea controlado por otro tipo de sistema guía, como el haz jinete.

Métodos de Control. Se requiere control de altura antes de aplicar el sis-



HOMING ADELANTADO

Figura No. 6

tema de guía. Hay tres métodos generales de suministrar control de altura: **La Estabilidad por Veleta, Control Proporcional y Control Golpe Golpe.** La estabilidad por veleta es el método más simple porque puede ser construido dentro de la armazón del proyectil. Las superficies son construidas de modo que las fuerzas desarrolladas por el flujo del aire apuntan el proyectil en la dirección del vuelo y tiende a mantener un cierto lado alto como en los aviones. La estabilidad por veleta es de gran ayuda pero no es lo suficientemente precisa para mantener proyectiles de alta velocidad y lar-

go alcance. Para obtener la precisión requerida para estos proyectiles es necesario equiparlos con un sistema de control que origine los cambios deseados o correcciones en la ruta o altura del proyectil. Hay varios tipos de sistemas de control en uso actualmente, y en general ellos rinden su función por el método proporcional o el de golpe golpe.

En el control proporcional la acción correctiva ordenada por el sistema de control es proporcional a la cantidad de error. Este error puede ser en la señal de gobierno del sistema de guía o en las señales de control de altura

del sistema de estabilización (autopiloto). Este método de control aunque dificulta el rendimiento es recomendable para su aplicación en alta velocidad debido a sus respuestas rápidas, alta precisión y operación suave.

En el control golpe golpe la acción correctora es completa o nula. Cuando una señal de error se envía al sistema de control este mueve el mecanismo de dirección la máxima cantidad y luego regresa a la neutral muy rápidamente. Esta acción se llama pi-

cotazo. Errores pequeños requieren solamente unos pocos picotazos para su corrección, mientras que grandes errores requieren bastantes. En algunos sistemas el tiempo de un picotazo se hace más largo para señales de error grandes. Este método de error es menos complejo y menos seguro que el método proporcional pero es mejor que la estabilidad por veleta. A causa de la acción de picotazo hay vibraciones en el proyectil y no se emplea en aplicaciones supersónicas.