

EL SISTEMA DE GUIA INERCIAL

Tte. de Navío ENRIQUE ROMAN BAZURTO



No sobra advertir que la mayoría de estas notas son extractadas del curso de Armamento para ascenso a Tenientes de Navío, el cual se desarrolla en la Escuela Naval de Cartagena donde actualmente se le da cierta importancia a este nuevo tema que es de interés no solo para el personal Naval, sino para todo el personal de las Fuerzas Armadas que tarde o temprano tendrá que vérselas con harto o poco de la moderna cohetaría.

El mundo se ha venido acostumbrando a los progresos diarios que ocurren en las grandes potencias en cuanto a cohetaría y proyectiles dirigidos se refiere; este campo es inmenso y cada día se diseñan y construyen nuevos tipos hasta el punto de hacernos pensar que los ingenieros y científicos dedicados a esto, consideran el cañón clásico como una simple pieza de museo.

Ha sido tan rápido el desarrollo en las armas de propulsión a reacción que se necesitaron menos de 10 años para instalarles cabezas de guerra químicas o nucleares y aún más: **Sistemas de guía** casi perfectos.

Pero todo este esfuerzo de los Países poderosos no se basa solamente en necesidades militares sino que tiene también sus consideraciones psicológicas y hoy en día todos los problemas, sean políticos o militares, deben solucionarse, por así decirlo, en un "nivel técnico" por los ingenieros y científi-

cos que están al frente de la cohetaría de esos países.

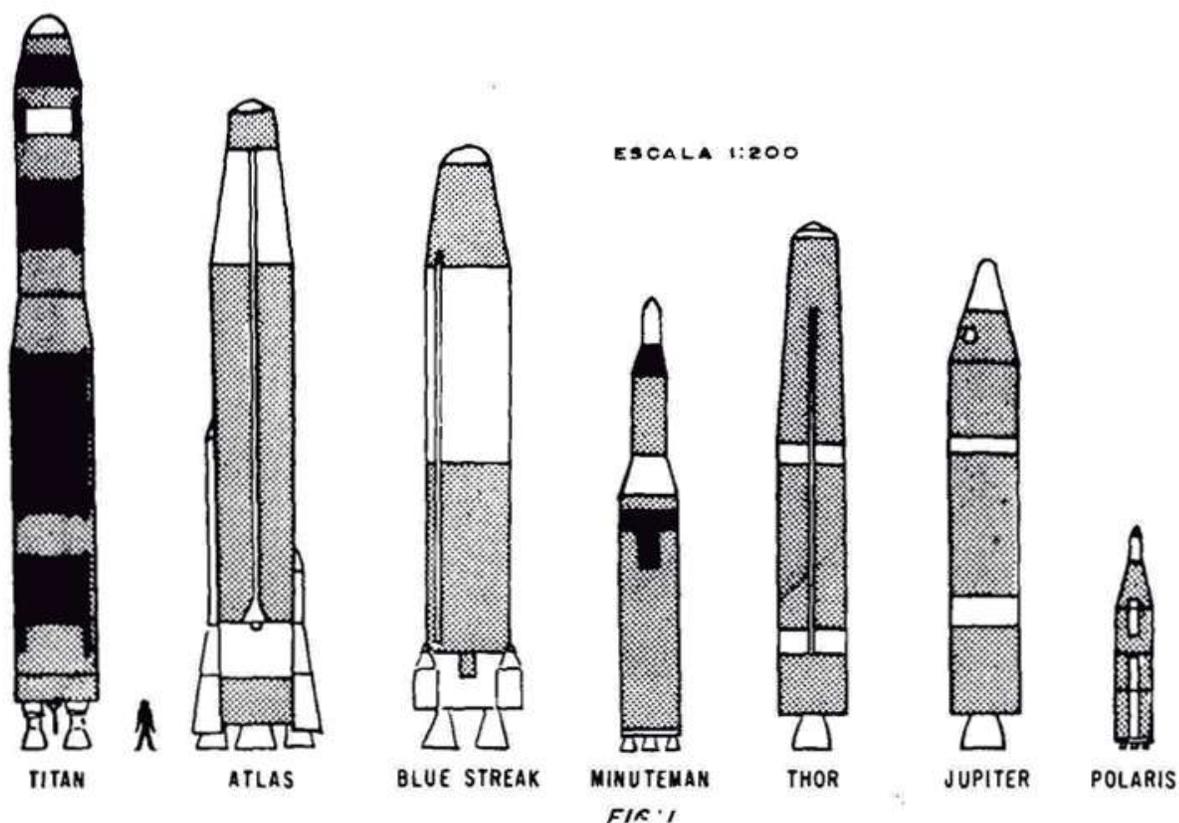
Hacer una clasificación de los cohetes y proyectiles dirigidos que hay hasta el momento es algo que resulta muy provisional, pues no se sabe y quizás nadie puede predecir las categorías y tipos que existan en 1970.

Punto por demás interesante dentro de esta extensa materia es el del **Sistema de guía Inercial**, objeto de estos apuntes. En una forma somera y sencilla se explicará su aplicación y funcionamiento en las armas a reacción, sin pretender otra cosa que mostrar sus principios, ya que los sistemas de guía en uso son secretos militares celosamente guardados por las potencias poseedoras de esta clase de armas.

El Sistema de guía Inercial, aparte de las armas a reacción, tiene actualmente gran cantidad de aplicaciones, por ejemplo: en los submarinos atómicos que lo han probado en sus viajes a través del Polo; los aviones de caza y otros tipos a chorro, por la gran velocidad y altura que pueden alcanzar, tienen el mejor y más seguro medio para situarse, en el **Sistema de guía Inercial**. Se instala también en tanques de guerra cuya visibilidad está limitada al periscopio y no influyen los movimientos bruscos y vibraciones del tanque para que el **Sistema Inercial** pueda dar correctamente la posición en el terreno.

I — Projectiles Balísticos Estratégicos Superficie a Superficie (Figura 1).

Tipo	País	Alcance	Sistema de guía	Notas
SM-80 Minuteman (USAF)	USA	5.500 M. N	GI. Autonetics.	Para operación desde bases fijas o plataformas móviles. Operacional en 1962/63.
SM-65 Atlas D- (USAF)	USA	5.500 M. N	GI. American Bosh Electric/buorroughs.	Para operación desde sitios semiprotégidos. Se Planearon 13 escuadrones con 10 proyect. c/u.
Blue Strik (RAF)	GBR	2.600 M. N	GI. Sperry Gyroscope.	Para operación desde bases fijas. En desarrollo.
SM-68 Titan (USAF)	USA	5.500 M. N	GI. MIT/AC Spark Plug.	Operacional en 1961. Se planearon 14 Escuadr. con 10 proyectiles c/u.
SM-78 Júpiter (USAF)	USA	1.500 M. N	GI. Ford Instrument.	Operacional en Europa. 15 proyectiles por Escuadrón.
SM-75 Thor (USAF)	USA	1.500 M. N	GI. Spark Plu.	Producción total cerca de 120 proyectiles.
Polaris (US NAVY)	USA	1.200 M. N	GI. MIT/General Electric.	Para lanzamiento desde Submarinos nucleares. Operacional desde 1961.



II — Projectiles de Turbina Estratégicos Superficie a Superficie (Figura 2).

Tipo	País	Alcance	Sistema de guía	Notas
SM-62 Snark (USAF)	USA	5.500 M. N	GI. Northrop and Astro Navigator.	Operacional. (15 proyectiles por Escuadrón). Puede llevar cabeza de guerra nuclear de 20 megatonnes

III — Projectiles Balísticos Tácticos Superficie a Superficie (Figura 3).

Tipo	País	Alcance	Sistema de guía	Notas
SSM-A-14 Redstone (US ARMY)	USA	200 M. N	GI. Ford Instru- ment.	Operacional en Europa.
Sergeant (US ARMY)	USA	75-100 M. T	GI. Sperry/Minne- apolis. Honeywell	Móvil. Se puede aero- transportar.
Pershing (US ARMY)	USA	500-700 M. T	GI. Bendix	Aerotransportable. Cabe- za de guerra nuclear de 1 megatón.

Tal como se dijo al principio, es muy difícil hacer una clasificación de los proyectiles y cohetes dirigidos, pero es importante tener en mente cuales de ellos llevan el **Sistema de guía Inercial** y por qué.

TENIENTE DE NAVIO

ENRIQUE ROMAN BAZURTO

Oficial del Cuerpo General de la Armada Nacional. Egresó de la Escuela Naval de Cadetes como Teniente de Corbeta en agosto de 1954. Ha efectuado los siguientes cursos: C. I. C. Watch Officer y C. I. C. Team Training Officer en Boston, Massachusetts, Maneu-
ring Board en Mobile, Alabama, Artillería, Officer Linje en la Vapenofficersskola en Estocolmo, Suecia y Curso Práctico de Control de Tiro en Hengelo, Holanda. Ha desempeñado los siguientes cargos: Oficial de C. I. C. en el Destructor ARC. "Caldas", Oficial de Armamento en el Destructor ARC. "Antioquia" Oficial Instructor en la Escuela de Grumetes y Escuelas Técnicas de Barranquilla. Es actualmente Oficial de Control de Tiro del Destructor ARC. "7 de Agosto".

La principal y más fácil clasificación en las armas autopropulsadas es atendiendo a su empleo. Desde este punto de vista las citadas armas pueden dividirse teniendo en cuenta los siguientes factores: a) el ambiente físico donde se ha colocado el medio del lanzamiento y b) el ambiente físico que circunda al blanco. Así pues se tienen 8 tipos principales de proyectiles:

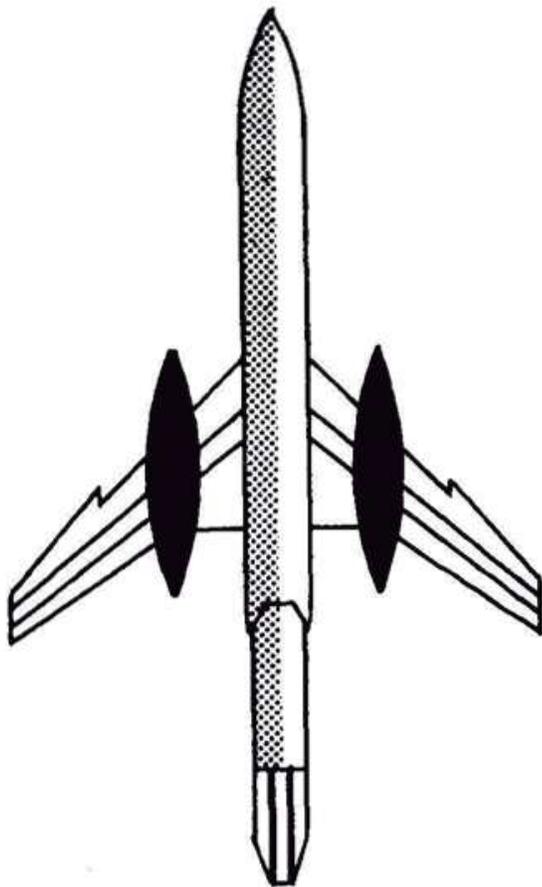
- 1—Superficie - Superficie.
- 2—Superficie - Aire.
- 3—Aire - Superficie.
- 4—Aire - Aire.
- 5—Superficie - Mar.
- 6—Mar - Superficie.
- 7—Aire - Mar.
- 8—Mar - Aire.

Pero bien se puede tomar esta otra clasificación, mejor y más técnica, hecha de acuerdo a las tareas operacionales para cientos de proyectiles de EE. UU., Inglaterra, Francia, Suecia,

Italia, Austria, República Federal Alemana, Japón, Noruega y Suiza, (No se incluye Rusia por ser vaga la información sobre sus cohetes y proyectiles dirigidos):

I—Proyectiles balísticos estratégicos Superficie a Superficie.

II—Proyectiles de turbina estratégicos Superficie a Superficie.



SNARK
FIG: 2

III—Proyectiles balísticos tácticos Superficie a Superficie.

IV—Proyectiles de turbina tácticos Superficie a Superficie.

V—Armas estratégicas y tácticas Aire a Superficie.

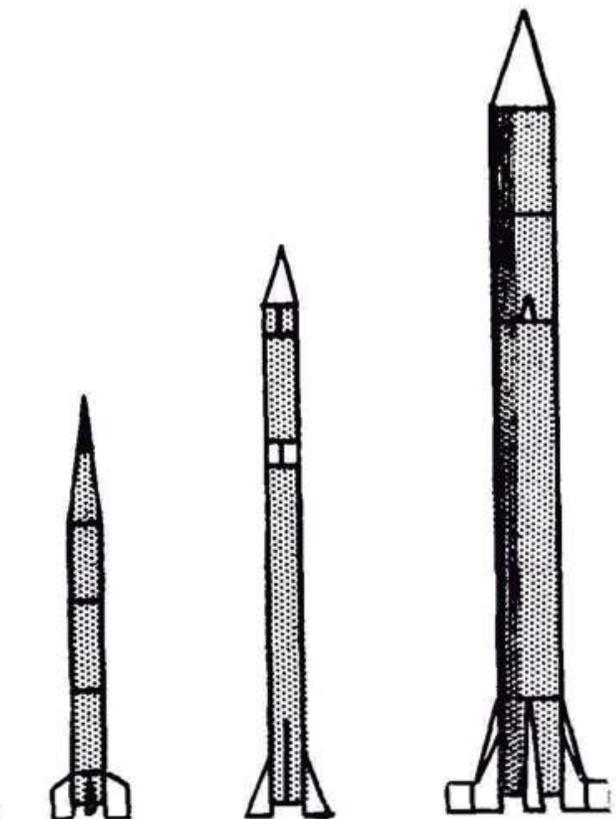
VI—Armas para combate de corto alcance para uso contra vehículos blindados y posiciones fortificadas.

VII—Armas Superficie - Aire.

VIII—Armas Aire - Aire.

En los cuadros siguientes se podrá observar qué proyectiles tienen Sistema de guía Inercial. (De un estudio hecho por **Interavia** Nr. 2 de 1960).

Como se puede apreciar en los cuadros anteriores, hay una gran cantidad de proyectiles con sistema de **Guía Inercial**. (En esos cuadros no se incluyen proyectiles y cohetes con otros sistemas de guía y tampoco se copian los cuadros correspondientes a las clasificaciones VI - VII y VIII, debido a que todas las armas de esas clasificaciones tienen sistemas de guía menos costosos y más simples). (Ver sistemas básicos de guía).



SERGEANT PERSHING REDSTONE
FIG: 3

Con lo dicho, se puede sacar en conclusión la importancia y la aplicación del **Sistema de guía Inercial**. Ahora antes de entrar de lleno en el nombrado sistema, se verán algunos puntos importantes que ayudarán a entenderlo mejor.

IV — Projectiles de Turbina Tácticos Superficie a Superficie (Figura 4).

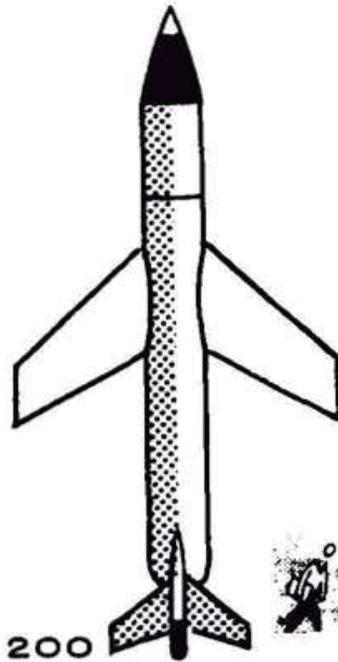
Tipo	País	Alcance	Sistema de guía	Notas
TM-76 B-Ma-CE (USAF)	USA	650 M. T	GI. AC Spark Plug	Base de lanzamiento móvil tipo Goodyear. Sucesor del Matador.

SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control es un mecanismo automático idóneo para dirigir el vuelo de un proyectil; el sistema obedece a los autocomandos o comandos externos.

cuales está sujeto a rotación y por lo tanto debe estar provisto de mecanismos que corrijan esos errores, es decir un sistema que controle los movimientos angulares de azimut, cabeceo y roldo, denominado **Control de Posición**.

Además de los movimientos angulares antes nombrados, el arma está sometida a movimientos de traslación sobre la dirección correcta de vuelo.



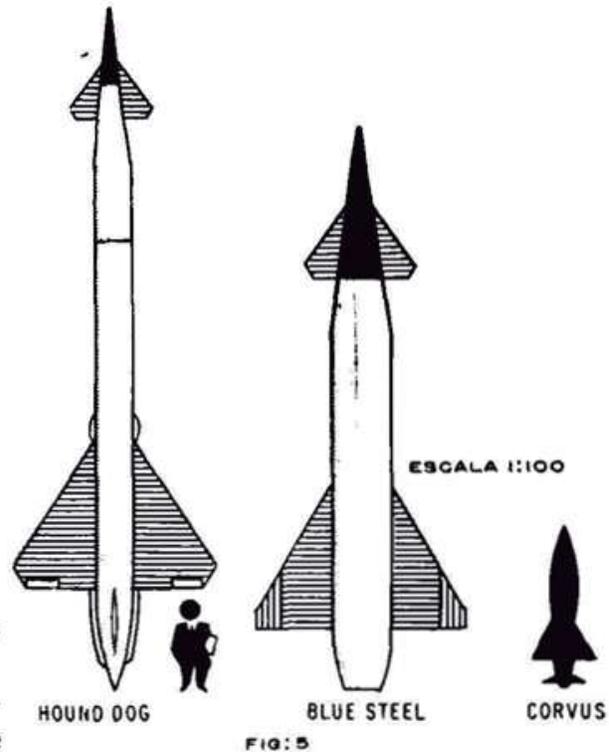
ESCALA 1:200

MACE
FIG: 4

Por lo tanto las funciones del sistema son:

- Estabilizar los ejes del proyectil respecto a una dirección de vuelo determinada.
- Orientar el arma hacia el blanco.

Un proyectil tiene tres ejes perpendiculares entre sí, mostrados en la figura 6: Eje de azimut, Eje de cabeceo y Eje de roldo, alrededor de los



ESCALA 1:100

HOUND DOG

BLUE STEEL

CORVUS

FIG: 5

Las figuras 7 y 8 muestran un cohete con errores laterales y verticales. Por último, se desarrolla un error en alcance a lo largo de la dirección determinada. Para estos errores existe un **Control de Dirección**.

V — Armas Estratégicas Aire a Superficie (Figura 5).

Tipo	País	Alcance	Sistema de guía	Notas
Blue Steel	GBR	400 M. T	GI. Elliot	Para ataque de alto o bajo nivel contra blancos estratégicos o defensas antiaéreas.
GAM-87 A	USA	1.000 M. T	GI. Nortronics. GE.	Largo alcance y lanzamiento desde bombarderos Jet.
GAM-77 Houn Dog	USA	500 M. T	GI. Autonetics.	Para ataque de alto o bajo nivel contra defensas antiaéreas.
ASM-N-8 Corvus	USA	—	GI. Texas Instrument.	Para lanzamiento desde aviones navales contra buques e instalaciones de radar enemigos.

USA Estados Unidos GBR Inglaterra. MT. Millas Terrestres. M. N. Millas Náuticas.
GI. Guía Inercial.

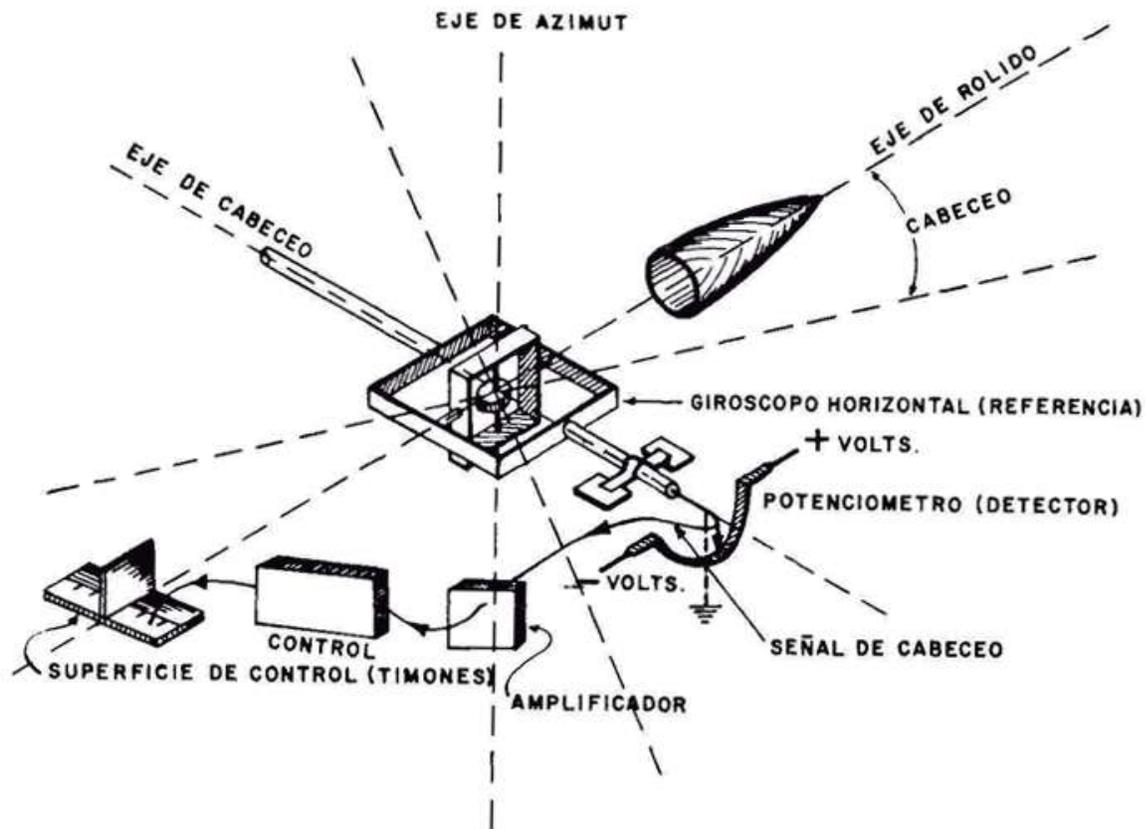
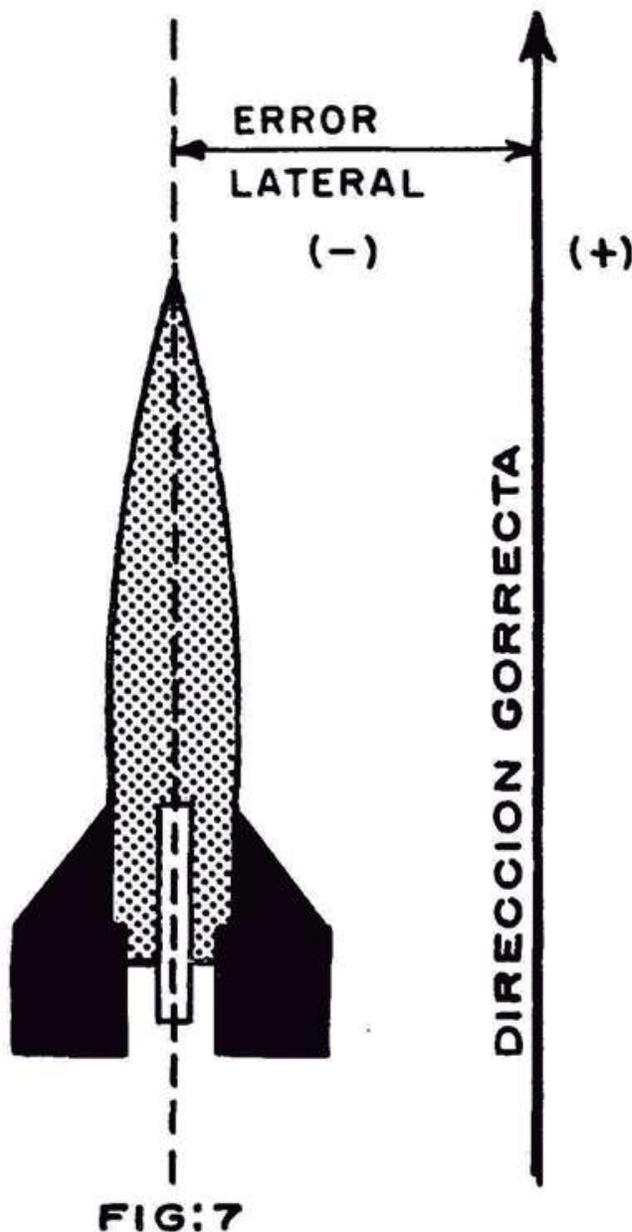


FIG.-6

En general un sistema de **Control de Posición** está formado de los siguientes elementos:

Una **Referencia**, consistente en un aparato que determina una línea de referencia para medir los errores de posición. Este es un giróscopo cuyo eje de



rotación se coloca de acuerdo a la operación y función dentro del proyectil (hay giróscopos verticales, horizontales y azimutales) (Fig. 6).

Un **Detector**, que mide cualquier error de posición durante el vuelo del proyectil. Este es generalmente un po-

tenciómetro cuya resistencia se conecta al cuerpo del proyectil y el divisor a la suspensión cardánica del giróscopo (Fig. 6).

Un **Amplificador**, que amplifica la señal detectada para que pueda gobernar los servomotores a los cuales están conectados los elementos que causan los movimientos del proyectil sobre los diferentes ejes. (Fig. 6).

Un **Control o controles** que son posicionados por los servomotores, los que producen los movimientos angulares del proyectil sobre los ejes de azimut, cabeceo y rolido. Hay muchas clases de controles, los principales son:

Timones semejantes a los de los aviones, aletas a chorro colocadas en la tobera del cohete; motores en suspensión cardánica y chorros auxilia-



res montados en la periferia del proyectil.

Un sistema de **Control de dirección** actúa normalmente a través del sistema de Control de Posición y consta generalmente de los siguientes elementos:

Un **Graficador**, que determina constantemente la localización del blanco con respecto al proyectil. El seguimiento de un proyectil o la graficación de éste puede hacerse: ópticamente, por radar, por radio o por cualquier otro método que determine la trayectoria del proyectil o del blanco en un punto dado.

Un **Computador**, que calcula las señales de dirección del proyectil, utilizando la información proveniente del Graficador.

Un **Director**, que envía órdenes computadas al proyectil para corregir las desviaciones laterales, verticales y errores en distancia.

1—

Auto-gobernados
(Self - Contained)

SISTEMAS BASICOS DE GUIA

Los principales sistemas de guía hasta hoy conocidos se dividen en 5 grandes grupos así:

Sistema de navegación (Estima y magnética).

Sistema Inercial

Sistema Inercial Mixto

2—

Teleguía visiva
y Televisiva.
(Comand).

3—

Línea Base
(Base Line).

Hiperbólica

Circular

4—

Autoguiados
(Homing- Group)

Activa

Semiactiva

Pasiva

5—

Teleguía sobre haz
(Beam - Rider)

Curva de persecución

Curva de tres puntos

Ruta de colisión

Visto lo anterior se puede entrar de lleno al rápido estudio del **Sistema Inercial** que pertenece al grupo de **Autoguiados**.

Este sistema nació de las investigaciones hechas para dotar de un método automático de guía a los proyectiles Intercontinentales, diseñados para grandes distancias y con trayectorias que salen de la atmósfera terrestre. (Ver cuadro I). Lógicamente estos proyectiles no pueden permitir una teleguía debido a la distancia y a la interferencia enemiga.

El sistema **Inercial** está basado en el segundo principio de la **Dinámica** el cual se expresa así: "Cada variación de movimiento producida por la acción de una fuerza sobre un cuerpo libre de moverse, es proporcional a la fuerza aplicada y tiene lugar en la dirección y sentido de la fuerza". Este sistema es bastante preciso y relativamente sencillo.

La navegación Inercial determina el punto de situación del proyectil en base a los parámetros del movimiento del arma, midiendo los datos del desplazamiento mediante los **Acelerómetros**.

Un acelerómetro está constituido, en su forma más sencilla, de una masa que puede: Oscilar suspendida de un péndulo o desplazarse a lo largo de una guía rectilínea.

En el primer caso se tiene un **Acelerómetro Pendular**, en el segundo un **Acelerómetro Rectilíneo**. En ambos casos la masa se mantiene en su punto muerto por resortes. (Figs. 9 y 10).

Tan pronto como el vehículo en el cual se encuentra el acelerómetro pasa del estado de reposo al de movimiento, la masa del mismo se retarda con respecto al punto muerto y la oscilación o desplazamiento hacia atrás será tan intenso como lo sea la aceleración del vehículo. En esta forma el acelerómetro mide la intensidad de

la aceleración en función del propio desplazamiento sobre el arco de suspensión pendular o a lo largo de la guía rectilínea; así se pueden registrar no solo los efectos de variación de ve-

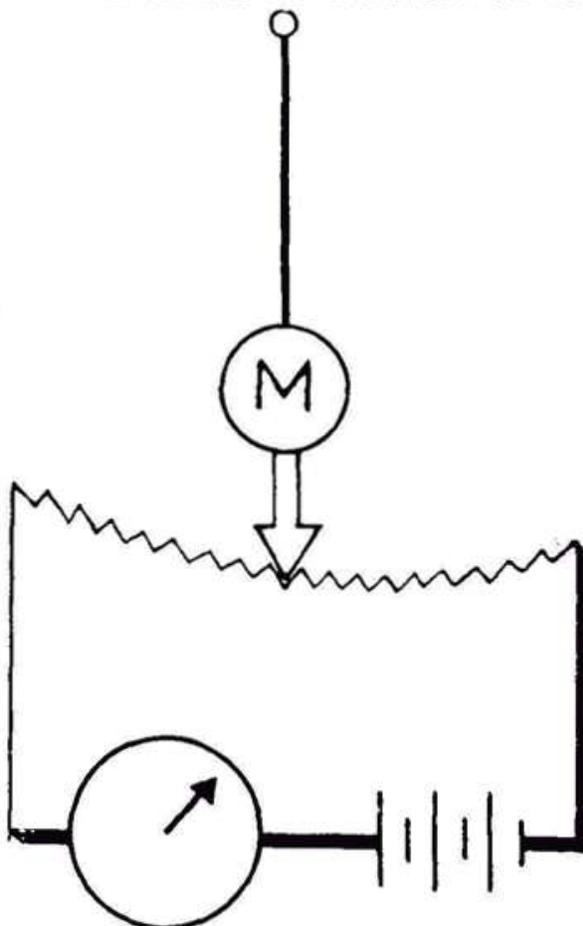


FIGURA 9

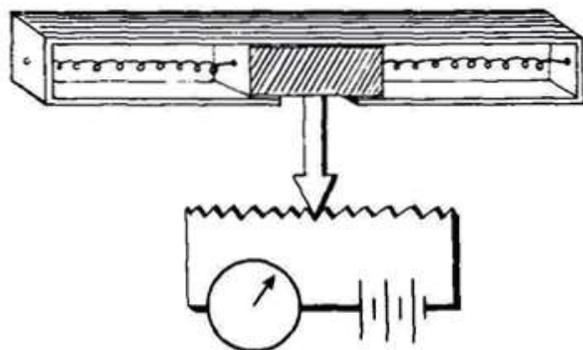


FIGURA 10

locidad y frenada sino también la aceleración y desaceleración debida a cabeceos, picadas y virajes.

Disponiendo dos acelerómetros uno en dirección proa-popa y otro a tra-

vés del arma, se pueden medir todas las variaciones del movimiento, descomponiéndolas en dos ejes cartesianos.

Al hacer uso de un tercer acelerómetro para azimut se pueden individualizar las variaciones del movimiento sobre un sistema de tres ejes en el espacio.

La masa de los acelerómetros se puede conectar a un reóstato, de tal manera que las variaciones de aceleración se traducen en señales eléctricas que pueden leerse en un voltímetro.

Hay infinidad de modificaciones en los acelerómetros, siendo la principal la del Acelerómetro de Motor Eléctrico y no es el caso de detallarlo aquí debido a que únicamente se dan los principios del **Sistema Inercial**.

Es necesario ahora determinar los ejes coordenados sobre los cuales se deben disponer los acelerómetros. Evidentemente, si se fijan en una forma rígida los acelerómetros del arma, se tiene como origen de las coordenadas un punto del arma y como ejes los de dirección, rolido y viraje de la misma.

Pero el punto del arma se refiere a la tierra y a su situación cartográfica, por lo cual es necesario orientar los ejes de los acelerómetros según las coordenadas geográficas o las coordenadas celestes. La escogencia es fácil y posible ya que se puede pasar de las coordenadas celestes a las geográficas o viceversa mediante la solución del triángulo esférico que da las fórmulas de transformación relativas.

Hay pues dos soluciones que por analogía dan el nombre de los instrumentos usados: **Montaje Ecuatorial** o **Montaje Azimutal**.

En el montaje ecuatorial los ejes se colocan verticales y paralelos al Ecuador terrestre. En el montaje Azimutal el eje vertical coincide con la verti-

cal del lugar y los otros dos yacen en el horizonte del arma orientados el uno hacia el Norte local y el otro a Este - Oeste.

El problema tecnológico consiste en construir una plataforma que sostenga los acelerómetros y se mantenga orientada en el espacio según los ejes coordenados escogidos; para esto se construye la **plataforma Estabilizada**.

Esquemáticamente una plataforma estabilizada consta de un juego de giróscopos en una suspensión cardánica apoyada en el arma y la cual porta los acelerómetros (Fig. 11).

Los aros de la suspensión son accionados con engranajes movidos por servomotores que a su vez reciben la señal eléctrica originada por el giróscopo respectivo cuando éste precesa a recibir una fuerza tendiente a sacarlo de la dirección de rotación establecida.

En esta forma el proyectil puede hacer cualquier movimiento y la plataforma continúa inmóvil en su posición inicial ya que los giróscopos y servomotores siempre la regresan a su posición de equilibrio.

Los acelerómetros colocados en la plataforma estabilizada registran entonces rolido, cabeceo, virajes, incrementos de velocidad y frenadas, descomponiéndolos según los ejes fijos de la plataforma o sea según las coordenadas geográficas escogidas. Además se pueden enviar correcciones a la plataforma a través de los servomotores para hacer coincidir la vertical relativa de la plataforma con la vertical calculada del punto del arma.

En efecto, sobre la esfera terrestre, la vertical del lugar es siempre determinada por la recta que une el punto del arma con el centro de la tierra.

Conocer las coordenadas del punto del arma, equivale a conocer la vertical correspondiente, por cuanto la latitud del lugar es igual al ángulo for-

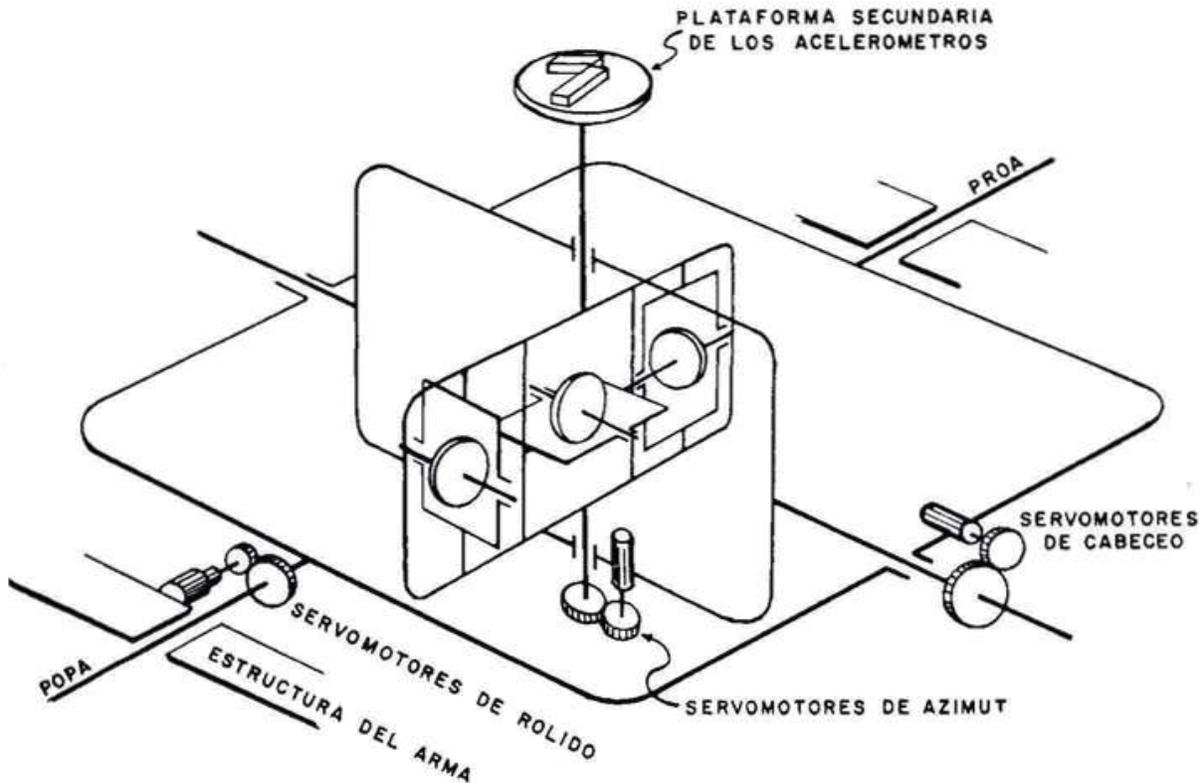


FIG.—II

mado por la vertical inclinada respecto al Ecuador y la Longitud igual al ángulo formado por la vertical inclinada respecto el meridiano de Greenwich.

Es claro que se puede obtener un control de las verticales de la plataforma estabilizada, simplemente, enviando los valores de la Longitud y Latitud exactos, a los motores auxiliares de la plataforma estabilizada.

La Instalación Inercial. Los elementos que forman la Instalación de Navegación Inercial son:

a) Una Plataforma estabilizada mediante giróscopos que la mantienen fija en el espacio con ayuda de los servomotores.

b) Un grupo de Acelerómetros oportunamente orientados, colocados sobre la Plataforma Estabilizada, para de-

terminar el valor de la aceleración del arma según los ejes coordenados previamente escogidos.

c) Un Computador (por separado para Latitud y Longitud) que integra doblemente la aceleración con respecto al tiempo para obtener distancia recorrida.

Puesto que: la velocidad $V = \frac{ds}{dt}$

y la aceleración $a = \frac{dv}{dt}$ se tiene

que aceleración $a = \frac{d^2s}{dt^2}$ (Segun-

da derivada del espacio con respecto al tiempo).

Si se integra doblemente acele-

ración con respecto al tiempo se tiene:

$$\iint \text{adt}^2 = \iint \text{d}^2\text{s}$$

Reemplazado a por su valor: $\iint \frac{\text{d}^2\text{s}}{\text{dt}^2} \text{dt}^2 = \text{S}$

d) Un diferencial para la Longitud y otro para la Latitud que suman algebraicamente a las coordenadas de partida, los incrementos obtenidos por el arma en su ruta.

Cada uno de estos elementos debe tener una precisión altísima y por lo tanto su construcción es bastante difícil. Es necesario tener en cuenta las variaciones de las verticales debido a la

curvatura real de la tierra con respecto a las verticales teóricas de la esfera terrestre. Se ha hecho necesario también determinar angulaciones en la plataforma estabilizada con el fin de corregir el efecto de Coriolis o sea la curvatura formada en una ruta rectilínea por efecto de la rotación de la tierra bajo el arma. No hay que olvidar el gran esfuerzo a que están sometidos los acelerómetros cuando entran a la atmósfera después del recorrido en el vacío. El Computador tiene enormes dificultades de construcción debido al medio en que debe trabajar.

Todo lo anterior apenas da un leve

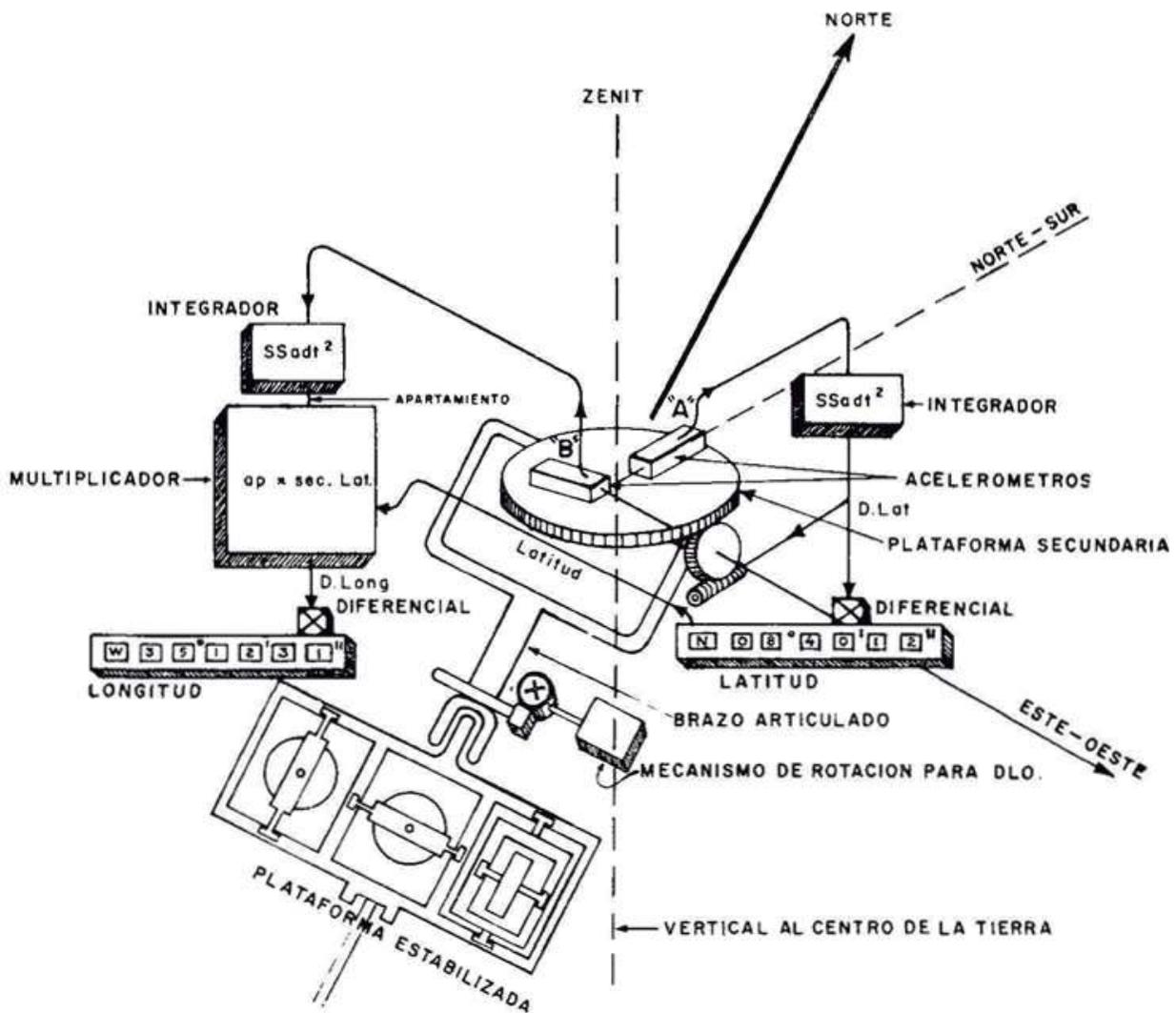


FIG.- 12

indicio de cuántos obstáculos hay que vencer para poder obtener un buen sistema inercial.

En la Figura 12 se puede observar la Plataforma Estabilizada por giróscopos; tiene su eje paralelo al eje terrestre y por lo tanto es un Montaje Ecuatorial. El eje sostiene una Plataforma Secundaria por medio de un brazo articulado; en dicha Plataforma se instalan los acelerómetros uno en dirección Este - Oeste, el otro en dirección Norte - Sur y por la estabilización siempre permanecerán en posición horizontal.

En la misma figura, a la derecha, se ve un computador (Integrador) que recibe las señales provenientes del acelerómetro "A" dirigido de Norte a Sur. Las salidas del doble Integrador (Diferencia de Latitud DLa), son proporcionales a los desplazamientos en Latitud y se expresan en grados. Estas señales de salida van a sumarse en el diferencial que tiene como dato inicial la Latitud del lugar de partida. En esta forma se obtiene constantemente la Latitud del arma en cualquier instante de su recorrido.

Por otra parte los mismos impulsos de diferencia de Latitud (DLa) rotan la Plataforma de los acelerómetros sobre el eje E-O para compensar la curvatura de la tierra y mantener la plataforma en el horizonte del lugar.

A la izquierda, en la Figura 12, se puede observar el acelerómetro "B" dirigido de Este a Oeste el cual envía las señales a un doble integrador que obtiene señales de salida proporcionales al "apartamiento" o sea un arco de paralelo correspondiente a un arco del Ecuador. Para obtener diferencia de Longitud DLo se debe multiplicar al "apartamiento" por la secante de la Latitud. En el siguiente teorema se podrá observar el porqué de esta multiplicación.

Teorema: En una esfera el arco de

Ecuador es igual al arco de Paralelo correspondiente multiplicado por la Secante de la Latitud del Paralelo.

Dos arcos son entre sí como sus radios, luego:

$$\frac{\text{arco de paralelo (ap)}}{\text{arco de ecuador (g)}} = \frac{r}{R}$$

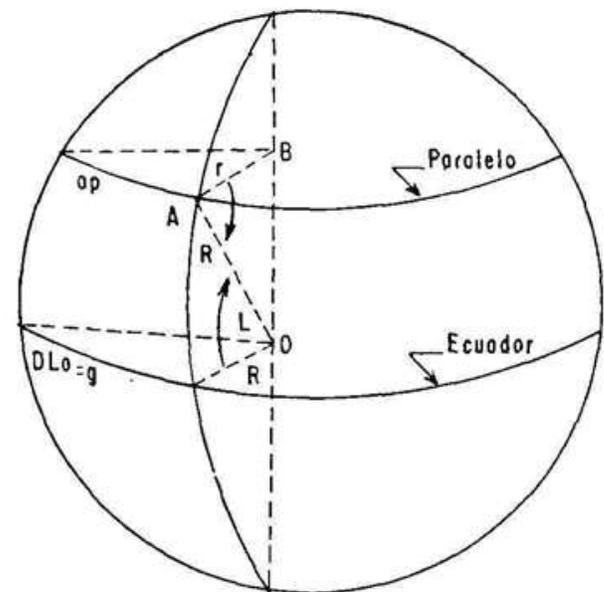
En el triángulo OBA, rectángulo en B, se tiene:

$$\text{Cos } L = \frac{r}{R}$$

$$\frac{\text{arco de paralelo}}{\text{arco de ecuador (g)}} = \text{Cos } L$$

De donde: arco de paralelo = arco de Ecuador x Cos L, o bien: arco de Ecuador = arco de paralelo x Sec. L.

O sea DLo = apartamiento (ap) x Sec. L.



En definitiva, los valores de Diferencia de Longitud DLo obtenidos, se suman en un diferencial a la Longitud de salida y se obtiene constantemente la Longitud del arma en cual-

quier instante de su recorrido. Para mantener la plataforma secundaria orientada sobre el meridiano del lugar, los impulsos de DLo hacen rotar proporcionalmente la plataforma secundaria en el eje N-S.

En esta forma los contadores de los diferenciales para Latitud y Longitud dan constantemente el punto del arma y la plataforma secundaria tiene en todo momento uno de sus ejes coincidiendo en la vertical del lugar y el otro dirigido al Norte.

Si en el proyectil se fija una posición particular de llegada (Latitud y Longitud) entonces los diferenciales y contadores son los encargados de enviar las órdenes a los sistemas de control de Dirección para que a través de los **Sistemas** de Control de Posición se muevan los timones y lleven al proyectil a su objetivo.

Con estas notas, resumidas hasta el máximo, se puede ver la complejidad en la construcción de tal sistema. Sin

embargo, hoy existen Mecanismos Inerciales que dan una precisión asombrosa, demostrada en los tiros de ensayo efectuados por los EE .UU. y otros países que poseen armas autopropulsadas.

BIBLIOGRAFIA

- Conferencias de Armamento A-331, Escuela Naval A. R. C.
- Física Per Licei Scientifici - G B Gazzaniga.
- Revista Interavia Nº 2/60 - Vol XV.
- Navigation And Nautical Astronomy, Dutton.
- Principles of Electronics and Electronic Systems - Prof. John L. Daley - U. S. Naval Academy.
- Introduction to the Basic Mechanisms Prof. Roy E. Hampton U. S. Naval Academy.