



ALINEACIÓN DEL SISTEMA DE COMBATE

Vanesa MARTÍNEZ TAMARGO



STOY en el muelle núm. 4 del Arsenal Militar de Ferrol y me sorprendo mirando una de nuestras insignes fragatas de la serie *F-100*. Como siempre estuve destinada en el servicio de Máquinas, todo lo relacionado con sistemas de armas me venía grande, esos raros paneles hexagonales, la cantidad de antenas, el cañón en proa, el lanzador vertical de misiles, y mi pregunta siempre era la misma: ¿cómo será posible que todo esto se sincronice y se dé al blanco? Me parecía una cosa muy complicada apta solo para mentes superdotadas.

La respuesta a mis preguntas vino de la mano de integrantes del Grupo de Alineación del Sistema de Combate de Ferrol,



Fragata *F-100 Blas de Lezo*.

Manuel Castiñeira, José Lage y Pablo Saborido. Yo me había dedicado a hacerles preguntas, hasta que un día, tomando café, comentaron que querían realizar un cursillo de actualización, al cual me autoinvité, y aprendí mucho, muchísimo, pero nada comparable a la experiencia y dedicación que ellos tienen y están deseosos de transmitir a «los jóvenes», como dicen, y que no quede en el olvido.

Un poco de historia de las fragatas *F-100*

España, Holanda y Alemania firmaron un programa de colaboración para el desarrollo de unas fragatas con características comunes, aunque con plataformas diferentes. En 1995, España se decide por el sistema estadounidense Aegis de Lockheed Martin en detrimento del sistema europeo, por posibles problemas de costes y plazos que podrían surgir en la modificación del misil para operar con el radar APAR. La Armada española se decantó por un sistema probado en múltiples buques de la US Navy y la Armada japonesa, tal como el sistema Aegis en operación conjunta con el radar SPY-1D y el misil SM-2.

Una vez elegido, se comenzó a diseñar la plataforma, debido a que las especificaciones de diseño del radar SPY-1D obligaban a imponer la manga y el desplazamiento a causa de los equipos asociados al sistema.

Se establece así una serie de requisitos de proyecto:

- Instalación de un Sistema de Combate Aegis completo, en una fragata con un desplazamiento medio de 6.000 toneladas.
- Disposición de una superestructura del buque de modo que no exista bloqueo en el haz de radiación, desde los arrays del radar SPY-1 D.
- Idéntica cobertura del radar SPY-1D sobre el horizonte que en los destructores DDG (clase *Arleigh Burke*) de la US Navy, disponiendo las antenas a la misma altura por encima de la línea de flotación que en estos buques.
- Empleo en la mayor extensión posible de equipos y pallets de guías de ondas de las antenas SPY-1D, idénticas a las de los DDG, minimizando así costes de nuevo desarrollo y esfuerzo logístico.
- Adaptación de los sistemas de la plataforma a las exigencias del Sistema de Combate y las condiciones ambientales.

Se decidió que debía reunir los siguientes requisitos operativos:

- Ejercer como buque de mando para fuerzas nacionales e internacionales.
- Desarrollar capacidad operativa de guerra de litoral.
- Capacidad ofensiva antisuperficie, antisubmarina y antiaérea.
- Proporcionar protección antimisil para unidades de alto valor y protección a larga distancia de las fuerzas operativas.
- Proporcionar interoperabilidad con fuerzas aliadas.

Con todos estos requisitos, se contrató la construcción de cuatro fragatas, denominando a la serie clase *Álvaro de Bazán*, y a cada una de ellas:

- *Álvaro de Bazán (F-101)*.
- *Almirante Juan de Borbón (F-102)*.
- *Blas de Lezo (F-103)*.
- *Méndez Núñez (F-104)*.

En 2005, se autorizó la construcción de una quinta unidad, manteniendo las características de la serie, pero mejoradas tanto a nivel de equipos como de sistemas. Esta fue botada el 4 de noviembre de 2010, la *F-105 Cristóbal Colón*.

Así es la nueva F-100

España dispone de cuatro fragatas F-100 y en febrero de 2006 se habrá botado la quinta. Su sofisticado equipamiento y su capacidad operativa convierten a este buque en la nueva estrella de la Armada

- Fragata F-100**
 España
 

146,70 m

Manga Máxima	37,50 m
Autonomía a 18 kn	4.500 km
Desplazamiento	5.800 tn
Velocidad máxima en plena carga	28,5 nudos
Tripulación	21 dotación
	229 fuerzas embarcadas
- SH-60 Seahawk Lupo III**
 Estados Unidos
 

Helicóptero bimotor, utilizado para la guerra anti-susmarina, búsqueda y rescate, carga liviana y operaciones especiales. Es la plataforma aérea de cruceros, destructores y fragatas.
- Misil de crucero Tomahawk**
 Estados Unidos
 

Misil crucero de largo alcance y velocidad supersónica para atacar objetivos terrestres. Diseñado para volar a altitudes muy bajas haciendo uso de avanzados sistemas de guía, que le permiten también tomar medidas evasivas.



Cañón FMC de 127 mm.

Lanzaderas de misiles 32 GDC Standard SM-2MR

Sistemas de comunicación:
 ESM: Regulus Mk-9500
 ECM: Casella Aldebaran
 Radar de superficie DR5 SPS-47

Lanzaderas verticales de misiles: Misiles Tomahawk y Sea Sparrow o Standard SM-2

Control de fuego SPG52 Mk99

Lanzacargas: Torpedos anti-susmarinos Mk48

Radar aire/superficie

El Proyecto del Sistema de Combate

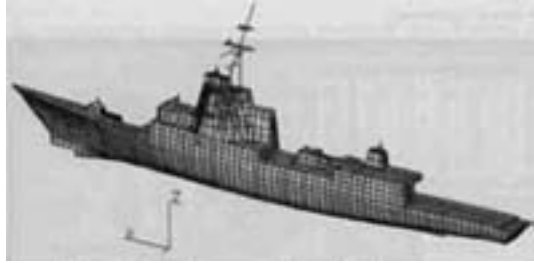
Ha sido desarrollado para cumplir lo requerido por la Armada española en las áreas de guerra antiaérea (AWW), guerra antisusmarina (ASW), guerra de superficie (ASuW), guerra electrónica (EW), navegación y comunicaciones.

¿Qué es la alineación de los Sistemas de Combate?

La alineación es el último paso para la puesta en funcionamiento de todo el complejo proceso que engloba los Sistemas de Combate, asegurando así la

coherencia de la información facilitada por los sensores para que la distorsión entre estos y las armas se encuentren dentro de los límites requeridos.

Este proceso nace ya en las primeras fases de construcción, asegurando que se dota al buque de una rigidez estructural adecuada, para lo que se efectúan las siguientes comprobaciones:



Modelo de los elementos finitos de la fragata F-100.

- Un estudio técnico global de las deformaciones del buque mediante un modelo de elementos finitos.
- Cálculos específicos de rigidez, vibraciones y resistencia al choque de los polines y basadas que sustentan los elementos del Sistema de Combate.

Novedades del Sistema de Combate

En el momento de la construcción, la instalación y la alineación del Sistema de Combate, y en particular los componentes del radar SPY-1D, impusieron una serie de requisitos, más allá de los habituales, entre los cuales destacan:

- El radar SPY-1D está formado por cuatro antenas fijas, situadas en las marcaciones de 45° , 135° , 225° y 315° respecto a la línea de crujía, y con un ángulo de inclinación de 15° respecto a la vertical.
- Cada antena está formada por más de 4.000 emisores elementales, con lo que la radiación total de cada una es la suma de las radiaciones de cada elemento. El control de la forma del haz se superpone entre ellas para cubrir todo el horizonte por medio de un *software* específico.

El hecho de que en el sistema Aegis el guiado de misiles pase en la fase final de vuelo desde el radar a los iluminadores, especialmente al de popa por estar más alejado de él, y la necesidad de asegurar la coherencia de la información de los sensores hacen que cobre gran importancia el control de la distorsión relativa de dichos sensores entre sí, derivada de la deformación del buque por flexión, torsión, cargas térmicas, etc., además de que para el proceso de la alineación del sistema de combate influya el balance, la cabezada y el rumbo, siendo estas las tres constantes para ubicar el buque en el espacio.



Escudo Aegis de la fragata *F-100*. (Foto: www.armada.mde.es).

En qué consiste la alineación del sistema de armas

Básicamente consiste en hacer coincidir los ceros eléctricos y mecánicos, tanto en el plano horizontal como en el vertical, de todos los elementos del sistema de combate, asegurando de esta forma que todos ellos estén enfilados al mismo punto del espacio. Esto sería lo ideal, en todos los sentidos, pero técnicamente es imposible por dos razones:

- Dificultad de realizar un ajuste cero exacto de los síncronos.
- La inclinación de la pista del plano de rodadura de construcción.

Estas razones hacen que haya que determinar un error en orientación y en elevación, así como la demora del máximo punto alto del plano de rodadura que genera errores en elevación.

Cómo se comprueba la alineación de todos los elementos

Existen dos tipos de comprobaciones:

- BENCH MARK, con anteojo sobre marca.
- TRAM BAR, sin anteojo y con barra de calibración telescópica (cada buque posee la suya y no son intercambiables).

La necesidad de alinear la determina la dotación del buque o el personal de apoyo.

Ambas comprobaciones se realizarán según las tareas de mantenimiento establecidas. Una vez efectuadas se deberían anotar en el libro historial del equipo y compararlas para determinar si ha sufrido alguna diferencia con la lectura inmediata anterior. No obstante, en la mayoría de los casos, la misión de la dotación del buque es identificar el elemento que se cree defectuoso.

Objetivo principal

Que todos los elementos del sistema de armas estén enfilados a un mismo punto en el espacio.

Quién realiza las alineaciones del sistema de combate

La comprobación de la inclinación del plano de rodadura y la determinación de los errores en orientación y en elevación se realizarán siempre por el Equipo de Apoyo del Arsenal donde se encuentre la base del buque.

Qué son las líneas y planos de referencia

Las líneas de referencia de orientación cero de todos los elementos de la artillería naval se escogen paralelas a la línea de crujía apuntando a proa. Ya que la superestructura del buque impide ver una longitud apreciable de la línea de crujía, desde la construcción en grada, se instalaron unas *marcas auxiliares*, paralelas a la de crujía, a babor y a estribor, desde donde pueden verse bien todos los elementos, usando esta línea auxiliar como referencia en lugar de la de crujía.

Los motivos más importantes son los siguientes:

- Los ángulos de orientación, marcación, rumbo, velocidad del buque y datos de designación externa están referenciados a la línea de crujía.
- Las líneas de orientación cero son paralelas a la línea de crujía. A partir de esta se escoge un elemento del Sistema de Combate como *elemento* de referencia desde el cual se alinean todos los demás.

Plano de referencia: Se elige arbitrariamente y aproximadamente paralelo a la línea de cubierta, paralelo al cual están maquinadas todas las pistas de rodadura de todos los elementos, para tener la seguridad de que quedan nivelados paralelos entre sí.

El plano de referencia utilizado en las fragatas *F-100* es una placa auxiliar colocada en un compartimento (Auxiliares n.º 3), donde la deformación del casco es mínima, que tiene unas marcas de referencia grabadas en una circunferencia de 360° dividida de 15° en 15° con respecto a crujía.

Cómo se determina la inclinación de la plataforma

Las basadas sobre las que se montan los elementos de artillería se maquilan para que, cuando queden instalados, los planos de sus pistas de rodamiento queden paralelos. Al ser prácticamente imposible conseguir un paralelismo absoluto, se hace necesario un medio para corregirlo.

La inclinación de la pista de rodadura se define como el *punto alto* y es el punto de inclinación máxima existente entre los planos (referencia y elemento) en la demora correspondiente. Siempre está desfasada 90° con la intersección de los dos planos. Se calcula mediante la fórmula:

$$i = I \cos \beta$$

siendo:

i: la inclinación del punto alto.

β: ángulo desde el punto más alto en la demora medida.

Nos sirve para determinar el valor de la inclinación en cualquier demora desde el punto alto.

Existen dos métodos para determinarla de forma numérica:

- Método Cartesiano: que es el usado en la actualidad por el equipo de alineación.
- Método Polar: es el método antiguo, pero también se puede seguir utilizando.

Qué es necesario para la realización de una alineación

Las herramientas y los equipos necesarios para realizar una alineación son las siguientes:

- *Barra Tram*: consiste en una barra telescópica calibrada, que determina la posición del elemento móvil con respecto a la estructura fija. Se utiliza básicamente para determinar la distancia o separación entre dos dados, uno fijo a la estructura móvil y otro fijo a la estructura fija. Se coloca entre los dados hasta hacer coincidir las líneas de referencia de la barra tomando lectura de los diales y *comparándola* con otras anteriores para constatar si existe alguna variación respecto de la lectura anterior. *Cada elemento móvil tiene su Barra Tram propia y su calibre, siendo únicos para cada uno de ellos.*
- *Tram óptico*: es un telescopio con dos líneas negras en la estructura fija y una línea fina en la móvil. Cuando se posiciona entre ambas líneas, el elemento se encuentra en el cero mecánico.
- *Teodolito*: es un instrumento óptico que consiste en un anteojo con dos ejes de giro, de forma que se pueden medir *azimut* (demoras) y *ángulos de elevación*, determinando así el error entre el cero de crujía y el cero del elemento. Actualmente se utiliza la denominada *estación total*.
- *Estación Total*: es exactamente la del *teodolito* pero con mejoras técnicas; todas las medidas son presentadas en pantalla digital. Lleva incorporado un nivel digital y permite registrar y almacenar todos los datos en una memoria PCMCIA.

En ambos casos se emplea una base con tres tornillos reguladores, formando un triángulo equilátero que sirve para nivelarla, incorporando un centrador óptico que sirve para centrar la estación en la vertical del punto donde se quiere hacer la medida.

- *Láser Trak*: es igual que la Estación Total, con la ventaja de que los puntos a medir son sobre prisma reflector láser, consiguiendo más precisión y medidas en vertical al no intervenir el ojo del operador.
- *Clinómetros*: instrumento que consiste en un nivel con burbuja, llevando incorporada una escala graduada en la que se lee la inclinación. Actualmente no se utilizan al tener menor precisión que los electrónicos.
- *Sensores electrónicos de nivel*: nos dan una respuesta eléctrica en *mV* o *mA*, en función de la inclinación. Aplicándola a un equipo de adquisición de datos con el *software* correspondiente, nos presenta la inclinación del plano donde está apoyado. Son calibrados con su propio cable y en su canal de adquisición asignado.
- *Anteojos de alineación*: son dispositivos cuya finalidad es representar la línea de puntería a efectos de alineación. La *línea de puntería* de un elemento de artillería es la que se utiliza como referencia para todas las operaciones de alineación, y puede ser el eje del ánima del cañón,

el eje longitudinal de un lanzatorpedos, el eje de propagación de un radar o el eje vertical del VLS. Por tanto, la cruz filiar del anteojo corresponde con la línea de puntería del elemento.

El anteojo del ánima es del tipo de los que se instalan para comprobar la alineación, disponen de una superficie de montaje que encaja exactamente en la recámara del ánima del cañón; es necesario por ello centrar su línea de puntería, para lo cual se le acopla un opérculo en la boca del cañón y se ajusta el visor al centro del opérculo.

Procedimiento de alineación de elementos fijos y móviles

En el Manual de Alineación del Sistema de Armas DIC 8561-0100-001 se describen los procedimientos para realizar la alineación de los distintos elementos del Sistema de Combate.

Para minimizar la distorsión estructural, originada por la distribución desigual de la temperatura, se debe realizar a flote y pasadas dos horas después de la puesta de sol. El elemento de referencia es el director FCS #1; todos los demás se alinean con respecto a él. Como ya hemos comentado, existen unas marcas auxiliares a babor y estribor, paralelas a la línea de crujía, desde las cuales establecemos el cero en orientación para realizar la comprobación.

Elementos móviles (directores, cañón). Procedimiento

- El teodolito con un clinómetro electrónico se coloca en una de las marcas auxiliares, desde la cual sea visible el elemento a comprobar.
- Se instala otro clinómetro en el elemento, lo más aproximado a la dirección de crujía y en el mismo sentido.
- Con el equipo de adquisición de datos se nivela el teodolito al elemento de referencia. Con el centrador óptico se coloca exactamente el punto de la marca.
- Se colima el teodolito a una segunda marca del mismo costado estableciendo el cero en orientación.
- Centrando el teodolito al elemento y el elemento al teodolito se toman lecturas de orientación y elevación, repitiendo esta operación seis veces.
- Se realiza una interpolación de todos los datos obtenidos de las seis lecturas del elemento y del teodolito.

La diferencia angular entre ambos es el error existente de alineación de orientación y de elevación.

Elementos fijos: (radar SPY, VLS). Procedimiento

- No tienen ajustes mecánicos, el requerimiento es determinar la posición real con respecto a la línea de crujía y el plano horizontal, ya que forman parte de la estructura del buque.
- La perpendicularidad de los cuatro paneles de antena situados respecto a la línea de crujía en las demoras de 45° , 135° , 225° y 315° y un ángulo de inclinación de 15° respecto a la vertical.
- Se determina el error en azimut y de elevación de cada uno de los paneles de antena con respecto a estas referencias angulares.
- Son necesarios dos teodolitos para su verificación. Uno situado en la cubierta superior con pentaprisma, permitiendo lecturas verticales y clinómetro para su nivelación, y otro situado sobre una marca auxiliar para transferir el cero de orientación al de la cubierta superior.

Para el VLS, se comprueba la verticalidad de los módulos y su azimut. Son necesarios dos teodolitos, uno sobre la marca auxiliar y otro en la línea de referencia del módulo.



(Foto: www.armada.mde.es).

Conclusiones

Tal y como se ha descrito con detalle a lo largo de todo este artículo, el que todo los elementos del Sistema de Combate de armas de un buque apunten a la vez a un mismo punto del espacio, no es un proceso sencillo, demostrando una vez más que los técnicos de la Armada española somos perfectamente capaces de realizar tareas arduas de ingeniería.

Para finalizar tomo prestada una cita: «Cada obstáculo en tu camino... será un estímulo para el éxito».



BIBLIOGRAFÍA

Manual de Alineación del Sistema de Combate, DIC 8561-0100-001.
Curso del Equipo de Alineación del Sistema de Combate.
Página *web* Ministerio de Defensa, Armada Española.
Asociación Milicia Naval Universitaria.
Revista Naval.