BOLETÍN TÉCNICO DE INGENIERÍA

Diciembre 2015
Número 9

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE ARMAS NAVALES

(ETSIAN-JEPER-DIENA)

A NUESTROS COLABORADORES

El acuse de recibo de los artículos enviados por nuestros estimados colaboradores no supone, por parte del BOLETÍN, compromiso de publicación. Normalmente no se devolverán los originales ni se sostendrá correspondencia sobre ellos hasta transcurridos seis meses de la fecha de su recibo, en cuyo momento el colaborador que los desee podrá reclamar la devolución.

Los originales habrán de ser inéditos, escritos en *Word* y se entregarán por vía informática (*Internet*, *Lotus Notes*) o grabados en CD. La extensión del texto no sobrepasarán las seis páginas y se presentará escrito a un espacio. La Redacción se reserva la aplicación de las correcciones ortográficas o de estilo que considere necesarias.

Las siglas y acrónimos se aclararán con su significado completo la primera vez que se utilicen (excepto las muy conocidas: ONU, OTAN, etc.) y deben corresponder a su versión en español cuando la haya (OTAN en lugar de NATO, Marina de los Estados Unidos en vez de *US Navy*, etcétera).

Las fotografías, gráficos e ilustraciones se acompañarán con un pie o título y tendrán una resolución de 300 dpi como mínimo, preferiblemente en formato JPG. Si no son del propio autor, se citará su procedencia y el autor realizará los trámites precisos para que se autorice su publicación. El BOLETÍN no se responsabilizará del incumplimiento de este requisito. Las ilustraciones enviadas en papel pasarán a formar parte del archivo del BOLETÍN y sólo se devolverán en casos excepcionales.

Se citará la bibliografía consultada.

Al final del artículo se incluirá el nombre y apellidos del autor, su categoría o profesión, el NIF, la dirección completa, con distrito postal, el número de teléfono y su dirección de correo electrónico.

Editora:
Mª José Pizarro García

ÍNDICE

EDITORIAL Pág. 1

VISITA Pág. 2

ARQUITECTURA DE CONTROL PARA SISTEMAS AUTÓNOMOS NO TRIPULADOS Pág. 5
CF (CIA) José María Riola Rodríguez
D. Juan Jesús Díaz Hernández

MODELADO EULER – LAGRANGE DE INTERACCIÓN LÍQUIDO – GAS APLICADO A LA EXHAUSTACIÓN DE TURBINAS GE LM 2500 EN FRAGATAS TIPO F100 COMO MÉTODO DE SUPRESIÓN DE FIRMA IR. PLANTEAMIENTO Y RESULTADOS Pág. 11
CF (CIA) José María Riola Rodríguez
TN (CIA) Julio Manuel Pernas Urrutia

¿POR QUÉ UN MÁSTIL INTEGRADO? Pág. 22
CF (CIA) Indalecio Seijo Jordán

APLICACIÓN DE DIAGRAMAS DE FALLO AL ANÁLISIS DE RIESGOS A BORDO DE SUBMARINOS Pág. 25
CC (CIA) Pedro Antonio Casas Alcaide

INTRODUCCIÓN A LA RADIACTIVIDAD. LEYES Y TIPOS DE DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA Pág. 36
CC (CIA) Joaquín Ortega García

CÁLCULO COMPARATIVO DEL EQUIPO DE AMARRE Y FONDEO DE UN REMOLCADOR Pág. 44
TN (CIA) Raúl Villa Caro

DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO AUTOMÁTICOS DE CONTACTOS VISUALES MEDIANTE COMPONENTES COMERCIALES DE BAJO COSTE Pág. 49
TN (CIA) Juan Manuel de Santiago Collada

SPAS, EL NUEVO SISEMA DE PROCESADOR ACÚSTICO DE SONOBOYAS DE SAEs Pág. 69
AN (CIA) Mª Concepción Mazón Herrera

EL ÚLTIMO VESTIGIO DE LA FÁBRICA DE SAN CARLOS Pág. 75
Arturo Rivera

INGENIEROS EN LA HISTORIA Pág. 78
FERNANDO CASADO DE TORRES E YRALAR

EDITORIAL

El Capitán de Navío del Cuerpo de Ingenieros
Comandante-Director de la ETSIAN

Queridos compañeros:

Es un placer y un honor presentaros el último número de este año del BTI agradeciendo el esfuerzo de aquellos que nos honran enviando sus artículos.

Aprovecho este mi último editorial, para despedirme de todos vosotros como Comandante-Director de esta Escuela. El tiempo pasa y yo desembarco el próximo día 19 de enero. Si Dios quiere estaré a vuestra disposición, en destino de reserva, en el LCMC a partir del 01 de febrero de 2016.

Sin más y esperando recibiros el día 09 de diciembre para celebrar nuestra Jornada de Convivencia, recibid un fuerte abrazo de vuestro amigo y compañero.

VISITA

El día 25 de septiembre la ETSIAN recibe la visita del Excmo. Sr. Almirante Jefe de Personal, D. Juan Rodríguez Garat, acompañado por el Almirante Director de Enseñanza Naval, el Excmo. Sr. Contralmirante D. Aniceto Rosique Nieto.

El Sr. Almirante fue recibido por una formación militar compuesta por la dotación de esta Escuela, al mando de la Subdirectora-Jefe de Estudios CC. (CIA-EOF) Dª. María Concepción Rodrigo Bayo.

El Comandante-Director de la ETSIAN, CN. (CIA-EOF) D. Pedro Ramón Saura Iniesta, dio bienvenida y las novedades de rigor al ALPER.

Finalizada la presentación, se realizó una breve visita por las aulas, laboratorios, locales de alojamiento y demás instalaciones de la Escuela.

A la finalización de la visita firmó en el Libro de Honor.

" Es un verdadero honor el ser invitado a firmar en el libro de honor de una escuela a la que respeto por sus obras, los Ingenieros de Armas Navales de la Armada, y por su antigüedad, superior a la mía. Con mis mejores deseos."

Arquitectura de control para sistemas autónomos no tripulados

CF (CIA-EOF) José María Riola Rodríguez
Doctor Ingeniero Naval. jriorod@fn.mde.es
D. Juan Jesús Díaz Hernández
Ingeniero Naval. jdiaher@ext.mde.es

RESUMEN

Durante la última década el empleo de sistemas autónomos no tripulados se ha visto incrementado, debido no sólo a la identificación de roles y misiones en los que pueden ser empleados, sino también a las mejoras tecnológicas asociadas al mismo. Dentro de éstas, destaca el importante avance en materia de autonomía tanto desde el punto de vista del suministro energético como de la capacidad de toma de decisiones de forma autónoma que permiten la ejecución sin necesidad del operador, gracias al desarrollo de arquitecturas de control que de manera implícita afectan a características tales como modularidad y escalabilidad. Algunas de las restricciones existentes en la actualidad están condicionadas por los tiempos de ejecución de las rutinas de procesamiento de las imágenes que son captadas por los sensores integrados a bordo, así como la pérdida de referencias en el entorno. El artículo expone de manera resumida algunos de los logros que se han llevado a cabo en el proyecto NVSNTENE (Navegación de vehículos submarinos no tripulados en entornos no estructurados) que fue realizado bajo el paraguas del programa COINCIDENTE (Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo en Tecnologías Estratégicas) de la DGAM (Dirección General de Armamento y Material).

Palabras Clave: UUV, arquitectura de control, modularidad, escalabilidad.

ABSTRACT

Over the last decade the use of unmanned autonomous systems has increased, due not only to the identification of roles and missions where these systems can be used, but also due to technological improvements associated with them. Among these technologies we can highlight the important progress on autonomy from the point of view of energy supply and high-level decision making which will allow a completely external intervention-free mission operation, by performing new control architectures that implicitly affect features such as modularity and scalability. Some of the currently existing restrictions are conditioned by the execution time of the processing images routines which are captured by onboard sensors and the difficulties in complex environments where the systems can be lost. The purpose of this paper is to present some of the achievements that have been obtained through the R&D project call NVSNTENE (Navegación de vehículos submarinos no tripulados en entornos no estructurados) which was conducted under the COINCIDENTE programme (Cooperation in Scientific Research and Development in Strategic Technologies) whose responsibility belongs to the DGAM (General Directorate of Armament and Materiel).

Keywords: UUV, distributed control architecture, modularity, scalability

INTRODUCCIÓN

La incorporación de sistemas robóticos en el entorno submarino es altamente compleja, debido al carácter variable e imprevisible sobre el que se desarrollan las diferentes actividades. En la actualidad una de las aplicaciones que más demanda está teniendo es la inspección de cables submarinos en presencia de corrientes, donde se puede analizar cómo la tendencia operativa convencional ha evolucionado a partir de la inspección visual de los cables submarinos, por parte de buzos, hacia la utilización de vehículos submarinos para la supervisión de los cables por parte de un operador. Este hecho es un ejemplo de cómo

el desarrollo de tecnologías aplicadas en el campo civil deriva en aplicaciones al entorno militar, son las consabidas tecnologías duales (Riola, 2011), en este caso se observa como el vehículo submarino desarrolla tareas básicamente de localización y posicionamiento, con el fin de mejorar la inspección de los cables a través de sistemas de visión submarina (estéreo-visión), y de él se pueden extraer múltiples aplicaciones en nuestro campo militar. La inspección mediante sistemas autónomos no tripulados está creciendo de manera progresiva, gracias al aumento en la autonomía de este tipo de vehículos, entendida no sólo desde el punto de vista energético sino en la capacidad de tomar decisiones de alto nivel sin precisar un constante control por parte del operador. De cara a garantizar el correcto funcionamiento, se precisa cada vez más de tareas complejas que implican el diseño y desarrollo de nuevas arquitecturas. La arquitectura de control modular y escalable, facilita el diseño de estos equipos, permitiendo la inserción fiable de diferentes sub-sistemas dentro del conjunto del vehículo.

Este artículo propone como solución desarrollada dentro del proyecto NVSNTENE (Velasco et al, 2013), una arquitectura híbrida basada en sistemas multi-agentes para el desarrollo de la aplicación anteriormente indicada. También se desarrolla una metodología para la generación y el seguimiento de la trayectoria en el interior de un espacio virtual fiable, sobre el cual, la navegación se desarrolla bajo condiciones operativas de mayor seguridad y efectividad.

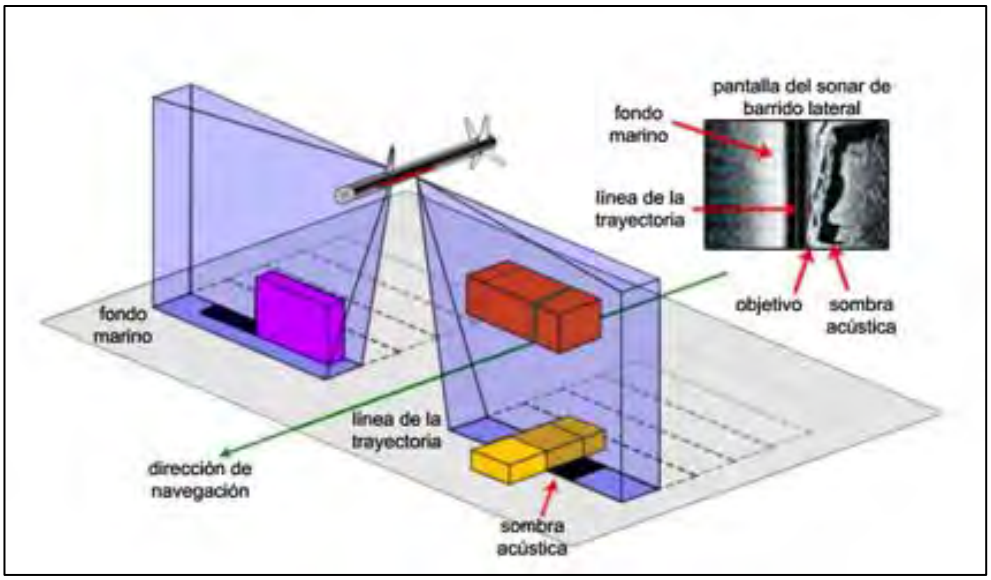


Figura 1 Inspección mediante UUV (Fuente - http://www.soes.soton.ac.uk/teaching/courses/soes3018/2011/Group6/index.htm)

Las ecuaciones no lineales que definen el movimiento de un vehículo en 6 GDL se puede expresar de la siguiente forma vectorial:

$$M\,\dot{\upsilon} + C\,(\upsilon)\upsilon + D\,(\upsilon)\upsilon + g\,(\eta) = \tau$$
$$y = \eta + \upsilon\,,\ \dot{\eta} = R\,(\eta)\upsilon,\ \tau = [\,\tau_1, \tau_2]^T$$

En la que $\eta = [x, y, z, \phi, \theta, \psi]^T$ es el vector de la posición con respecto al sistema de coordenadas fijado en tierra, $\upsilon = [u, v, w, p, q, r]^T$ es el vector de las velocidades lineales y angulares, τ es el vector de las fuerzas y momentos (de control), donde $\tau_1 = [\mathrm{X}, \mathrm{Y}, \mathrm{Z}]^{\mathrm{T}}$ es el vector generalizado de las fuerzas externas con relación al eje de coordenadas fijado al vehículo y $\tau_2 = [\mathrm{K}, \mathrm{M}, \mathrm{N}]^{\mathrm{T}}$ el vector de los momentos de las fuerzas externas que actúan en el vehículo, υ representa el ruido de medición y w las perturbaciones ambientales. M es la matriz de masas e inercias añadidas, $C\,(\upsilon)\upsilon$ la matriz de las fuerzas de Coriolis, $g\,(\eta)$ la matriz de las fuerzas de restauración y $R\,(\eta)$ la matriz de rotación.

Las fuerzas y momentos de amortiguamiento hidrodinámico se suponen que son una combinación del amortiguamiento lineal y no lineal de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$D\ (v)v = \ D_l v + \ D_{nl}(v)\ v$$

En este trabajo se dispuso de un vehículo no tripulado que emplea tres propulsores: dos horizontales situados en el centro del vehículo con los que se controla la velocidad y el ángulo de giro y el tercero vertical que se encarga de controlar su profundidad. El control del cabeceo del vehículo se consigue mediante el movimiento de unas masas. Los propulsores horizontales controlan las fuerzas de avance y los momentos de guiñada. De esta forma el empuje se puede expresar como:

$$T = \ \rho\ D_h^4\ K_T(J_0)n_r\ |n_r|\ (1-t)$$

En la que ρ representa la densidad del agua (1000 kg/m3 en los ensayos), Dh el diámetro del propulsor, las revoluciones, t es el factor de reducción del empuje con unos valores habituales de 0.05 a 0.2 y KT es el coeficiente adimensional. En base a las ecuaciones de la fuerza de empuje avante y del momento de guiñada se obtiene la ecuación:

$$\begin{bmatrix}\tau_{X,th}\\ \tau_{N,th}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 1\\ d_p & -d_p\end{bmatrix}\begin{bmatrix}T_p\\ T_s\end{bmatrix}$$

Donde $\tau_{X,th}$ representa la fuerza de control de avance, $\tau_{N,th}$ representa el momento de guiñada, d_p la distancia del propulsor al centro del vehículo, T_p el empuje del propulsor de estribor y T_s el de babor. Además, si el ángulo de balance Φ ≠ 0, se produce un momento de cabeceo:

$$\tau_{M,th} = \ -\left(T_p - T_s\right)d_p \sin(\phi)$$

El control del cabeceo se consigue mediante el movimiento de unas masas situadas en el interior de vehículo en la mitad de proa. Con todo ello, la expresión de las fuerzas de control τ generadas por los propulsores y el actuador de cabezada resulta:

$$\tau = [\tau_X, 0, \tau_Z, 0, \tau_M, \tau_N]^T$$

ARQUITECTURA PROPUESTA

Hay que tener en cuenta como encajan los distintos elementos entre sí para formar una estructura compleja de control. Se tienen que establecer una serie de requisitos como son la robustez, posibilidad de control del sistema bajo condiciones de fallo, reactividad, velocidad de respuesta elevada del sistema ante los cambios en el entorno, ejecución en tiempo real, adaptabilidad, entendiendo la capacidad del sistema a modificar sus órdenes preestablecidas a los cambios en el entorno, etc. Existen distintos tipos de arquitecturas:

- Jerárquica, en la que se distribuyen los elementos de control en capas, aquellas capas que se encuentren más cercanas a los elementos físicos tendrán un carácter claramente reactivo, mientras que las capas superiores tendrán un carácter más deliberativo. Como ejemplo un sistema robótico móvil con una arquitectura jerárquica realizando tareas de transporte de un producto de un punto a otro. La capa deliberativa tendrá como objetivo el desplazamiento óptimo del robot por una determinada zona, mientras que la capa reactiva tendrá como objetivo la evitación de los obstáculos.

- Distribuida, en la cual el sistema se encuentra dividido en elementos, que pueden tener tanto carácter deliberativo como reactivo, la potencia del sistema se encuentra en el conjunto. Estos sistemas es-

tán muy extendidos en la comunidad científica. Siguiendo el ejemplo imaginamos un grupo de robots terrestres buscando un determinado objeto en una zona delimitada.

- Híbrida o mixta, que presenta un compendio de las anteriores. Existen elementos del sistema cuya función es la de planificar y modificar el comportamiento del resto de componentes. En esta arquitectura se establecen las relaciones entre ellas y se imponen los objetivos locales de los elementos.

La arquitectura propuesta parte del concepto convencional de arquitectura híbrida basada en capas, dividiendo el comportamiento del sistema en dos grandes grupos: un comportamiento reactivo, en el que el sistema debe reaccionar de una forma automática ante un determinado evento, caso de los sistemas de evitación de obstáculos que deberán modificar la trayectoria del sistema de tal forma que se reduzca la posibilidad de un impacto, y un comportamiento deliberativo, en el que el sistema evalúa diferentes posibilidades determinando aquella más conveniente en cada situación, por ejemplo, la generación de trayectoria entre dos puntos dependiendo de los consumos, etc.

La plataforma utilizada fue la plataforma multi-agente cooperativa (Panait, 2005), compuesta por un conjunto de agentes que aportan los conceptos de modularidad y escalabilidad necesarios para estas aplicaciones. La modularidad del sistema permite un aumento en la capacidad de conectividad entre los módulos ausente de incompatibilidades y riesgos de comprensión entre ellos. La escalabilidad del sistema permite la reducción entre potenciales errores, propiciados por el cambio de nivel o entorno. Destacan las restricciones temporales de funcionamiento de cada uno de los módulos de las diferentes capas, capaces de reducir los retrasos producidos por los intérpretes de los distintos niveles en el lanzamiento de interrupciones o subrutinas para distintos escenarios en el procesamiento de los datos recibidos por los sensores. Estos agentes aportan características tales como autonomía, reactividad, cooperación e iniciativa.

OBJETIVO

Para simplificar el problema a resolver, la inspección de cables submarinos mediante un AUV (autonomous underwater vehicle) trabajando en entornos no estructurados, el sistema realiza el seguimiento del cable on-line, y evalua los datos obtenidos por los medios de captación para determinar los defectos en el cable, señalando que la estructura interna de estos cables incorporan en su interior cables de acero que impiden cambios bruscos en la dirección de alojo en el lecho marino.

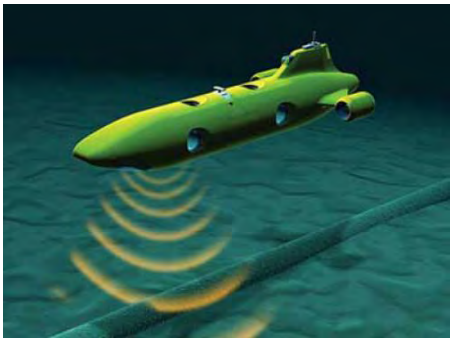


Figura 2 Inspección de cables (Fuente http://tonicarpio.com/periodismo/submarinos-autonomos)

Se empleó por parte de la Universidad de Cantabria el vehículo submarino C'Inspector del fabricante Kongsberg. Este vehículo fue modificado incorporando un conjunto de sonares de barrido lateral, capaces de aportar la información necesaria del fondo marino, a ambos lados del vehículo en la zona central y cuyo anchura nos permite detectar un ancho de aproximadamente un metro del lecho marino. El equipo consta de dos sistemas sonar independientes. Uno el sonar de navegación, cuya función es la obtención de una imagen sonar frontal del entorno utilizada para la detección de objetos frontales a dife-

rentes distancias y de un conjunto side-scan sonar, encargado de proporcionar las imágenes a ambos lados del vehículo del lecho marino para su posterior estudio.

El estudio de las imágenes proporcionadas por los sonares se realiza de forma independiente mediante la utilización de técnicas de visión artificial, en particular de la imagen frontal del entorno se detectan los objetos con anterioridad, tanto dinámicos como estáticos, proporcionando una trayectoria sistema fiable y segura, mientras que el estudio de la imagen proveniente de los sonares laterales proporcionará la detección de diferentes objetos en el lecho marino, en dicho estudio se tuvo en cuenta el estudio de las sombras acústica ya que proporcionaba características propias de los objetos.

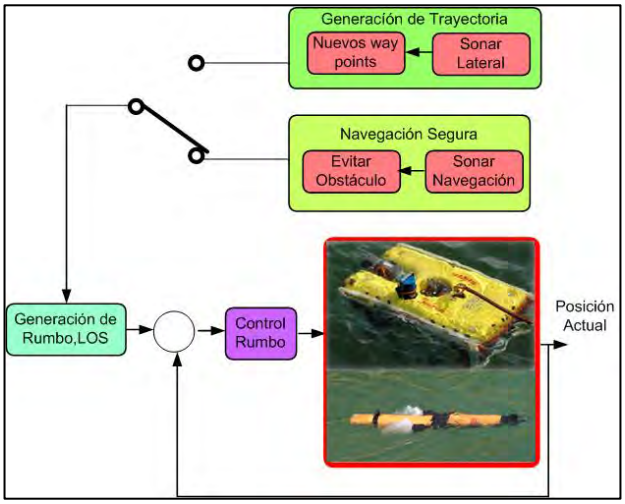


Figura 3 Funcionamiento básico (Fuente - elaboración propia)

Este funcionamiento básico se fundamentó en cuatro módulos claramente diferenciables. Un módulo de generación de trayectorias para el seguimiento del cable submarino, capaz de desarrollar una ruta teórica anticipativa a partir de la generación de una función que aúne todos los puntos previamente obtenidos y obtenga los siguientes puntos de paso de la trayectoria (way-point's), un sistema de navegación capaz de analizar y evitar cualquier objeto que se encuentre o pueda interceptar la trayectoria fijada por el anterior módulo, un sistema de decisión, basado en reglas ECA (event-condition-action) (Almeida, 2005), capaz de modificar el comportamiento del sistema cambiando el modo de navegación a navegación segura en el instante que el sistema de detección muestra un potencial peligro y por último, un sistema de seguimiento de la trayectoria (trackerpath), encargado de seguir cada uno de los puntos de paso determinados por los dos módulos de navegación reduciendo el error trasversal de camino entre los diferentes puntos de la trayectoria.

Existen diferentes clases de agentes encargados de diferentes tareas, unos están encargados de la adquisición de los datos del entorno y del posicionamiento del vehículo, otros del comportamiento del mismo ante distintas situaciones, y por último, el grupo que aporta cohesión a los diferentes módulos, los agentes supervisores, cuya funcionalidad es planificar y controlar los diferentes bloques, los agentes verificadores, encargados de comprobar la fiabilidad de los bloques y los datos reduciendo los retrasos derivados de los diferentes lenguajes formales de las capas en las que se ha dividido el sistema.

MÓDULOS DEL SISTEMA

- Módulo de navegación, encargado de generar una trayectoria fiable y segura para el vehículo. En el módulo de adquisición y procesado de las imágenes del sonar de barrido lateral se obtiene la posición del cable y se traslada su posición al eje de coordenadas mundo. El sistema genera una trayectoria a partir de los puntos obtenidos en las etapas anteriores, para ello, se aproximan los datos obtenidos a una función, dicha función es totalmente dependiente de la velocidad del vehículo.

- Módulo de adquisición y procesado imágenes sonar, sirve de alimentadores de los bloques de navegación y de evitación de obstáculos. Mediante el estudio de las imágenes del sonar de barrido lateral se determina la posición del cable en el lecho marino. Con el estudio de las imágenes provenientes del sonar de navegación se determina la posición de los objetos estáticos, tales como rocas, y se estudia la trayectoria de los objetos dinámicos.
- Módulo de evitación de obstáculos, se define una trayectoria fiable ante un potencial impacto del vehículo, determinado por la trayectoria proporcionada por el de navegación y cualquier objeto que se encuentre en la zona frontal del vehículo.
- Módulo de pérdida de cable, donde una vez se ha producido ésta, el sistema carga de nuevo la última posición conocida estableciendo una trayectoria segura a este nuevo punto, una vez alcanzada la misma el algoritmo de búsqueda establece un conjunto de trayectoria de forma cónica, partiendo desde el punto último conocido hacia la zona teórica determinada por el módulo de navegación.
- Módulo de ejecución, este módulo por un módulo de toma de decisiones, en el cual se determina la acción a realizar en cada instante, es dependiente del comportamiento del sistema (sistema basado en eventos), y el otro sub-módulo es el correspondiente al algoritmo de seguimiento de ruta, el LOS modificado cuya función es la reducción del error trasversal de camino entre cada uno de los puntos obtenidos en los módulos de navegación y el módulo de evitación de obstáculos.

CONCLUSIONES

El artículo ha puesto de manifiesto como el empleo de una arquitectura basada en un sistema multiagente, permite dar respuesta a las restricciones actuales, afectando tanto al tiempo como al seguimiento en la inspección mediante la utilización de sistemas autónomos no tripulados. La validación de la misma se realizó en una primera fase mediante herramientas de simulación, utilizando Matlab/Simulink e incorporando modelos hidrodinámicos (Fossen, 1994, 2002), y posteriormente su validación en entorno real, obteniendo una considerable reducción del tiempo necesario para la identificación y seguimiento del objeto, además de conferir una operativa más fiable y segura.

REFERENCIAS

Almeida, E., Luntz J., Tilbury D., (2005). Modular finite state machines implemented as event-condition-action systems. In: *Proceedings of the 16th IFAC World Congress*. 16:373-378.

Fossen, T. I. (2002). *Marine control systems: Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles*. Marine Cybernetics AS. Trodheim, Norway.

Fossen, T.I. (1994). *Guidance and control of ocean vehicles*. New York, USA: John Wiley and Sons Ltd.

Panait, L., Luke, S., (2005). Cooperative multi-agent learning: the state of the art. *Journal Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 11 (3), 387-434.

Riola, J. (2011). La política de I+D en Defensa: Metas y retos tecnológicos. En *Las Tecnologías de Doble Uso: La Investigación y el Desarrollo al Servicio de la Sociedad Civil y Militar* (pp. 13-22). Murcia, España: Centro Universitario de la Defensa (CUD) de San Javier.

Velasco, F., Lastra, F., Revestido, E., Riola, J.M. y Díaz, J.J. (2013). *Navegación de Vehículos Submarinos no Tripulados en Entornos no Estructurados.* I Congreso DESEi+d. ETSIT-UPM: Madrid.

Modelado Euler – Lagrange de interacción líquido – gas aplicado a la exhaustación de turbinas GE LM 2500 en fragatas tipo F100 como método de supresión de firma IR. Planteamiento y resultados

CF (CIA-EOF) DR. D. José María Riola Rodríguez
TN (CIA-EOF) DR. D. Julio Manuel Pernas Urrutia

0. Resumen

De las firmas del buque de guerra destaca la firma infrarroja (IR), con una contribución muy significativa de los gases de exhaustación en la banda 3 – 5 μm del espectro utilizada por misiles auto-guiados IR. Las últimas líneas de investigación encaminadas a reducir la temperatura de los gases de exhaustación contemplan sistemas híbridos, añadiendo rociadores de agua a los sistemas tradicionales o pasivos (mediante mezcla con aire ambiente). El presente artículo resume la metodología empleada para el modelado, con técnicas de mecánica de fluidos computacional, de los fenómenos físicos relacionados con la interacción entre fases derivada de inyectar agua nebulizada en el interior de conductos de exhaustación de turbinas de gas marinas GE LM 2500 de fragatas tipo F100 con el fin de reducir la temperatura de los gases y, por lo tanto, su contribución a la firma IR del conjunto de la plataforma.

1. Introducción

A la hora de evaluar la capacidad de supervivencia del buque de guerra actual habrá que considerar, entre otros aspectos, la susceptibilidad o incapacidad de la unidad para evitar ciertos sensores. La susceptibilidad dependerá, a su vez, del espectro de energía emitido y/o reflejado y de la modificación de parámetros físicos, encontrándose intrínsecamente relacionada con las *firmas del buque* [1].

De las firmas del buque de guerra destaca la firma IR, la cual tiene que ver con la radiación emitida y/o reflejada en dicha franja del espectro electromagnético. La firma IR tendrá un impacto negativo en la supervivencia del buque de guerra por constituirse en fuente de guiado de misiles IR, a la vez que permitirá su detección, clasificación y seguimiento.

Dentro de las fuentes fundamentales de radiación IR del buque de guerra, destacan los gases de exhaustación de las turbinas de gas, con una contribución muy significativa en la banda 3 – 5 μm del espectro (utilizada por misiles auto-guiados IR). También contribuirán, en menor medida, en la banda 8 – 12 μm, banda empleada por los sistemas de visión nocturna para la detección, clasificación y seguimiento mediante el empleo de cámaras termográficas tipo *flir* [2].

Si bien existen diversos sistemas para la reducción de la firma IR generada por los gases de exhaustación en turbinas de gas marinas, la solución mayoritaria pasa por emplear aire ambiente para la refrigeración, por efecto eductor-difusor, tanto de los penachos de gases como de las superficies visibles de los conductos de exhaustación, en base a la instalación de elementos estructurales de tipo *pasivo* en el último tramo del conducto de exhaustación, reduciendo la temperatura de los gases por debajo del nivel de supresión de firma IRSS III – 523 K [3] (nivel de supresión IRSS en fragatas F100). En la actualidad, diferentes fabricantes se encuentran probando prototipos de tipo híbrido, consistentes en añadir rociadores de agua al sistema de enfriamiento tradicional o pasivo y consiguiendo, de esta forma, rebajar la temperatura de los gases emitidos a la atmósfera por debajo del nivel de supresión de firma IRSS IV – 423 K [4]. La siguiente ilustración muestra, en fragatas tipo F100, el tiempo disponible para el lanzamiento de contramedidas en función del nivel de supresión de firma IRSS adoptado:

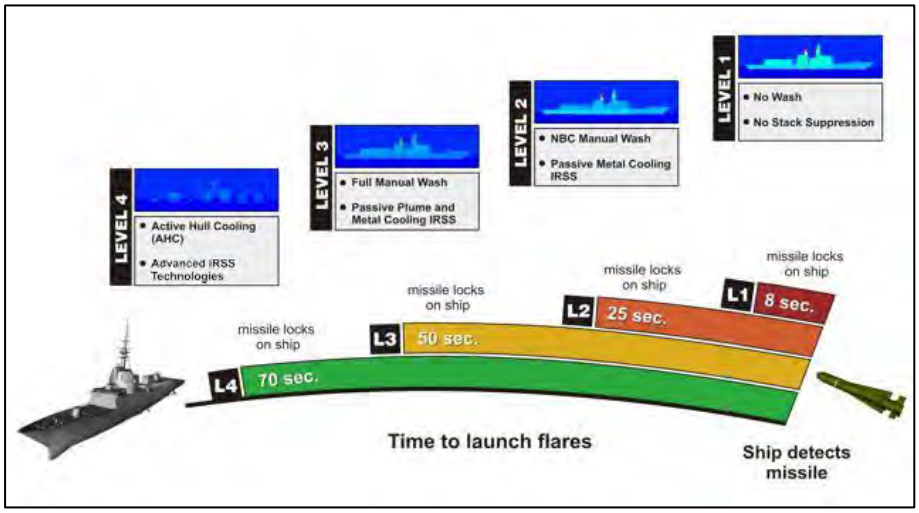


Ilustración 1. Tiempo disponible para el lanzamiento de contramedidas en función del nivel IRSS

2. Técnicas CFD (*mecánica de fluidos computacional*) aplicadas al problema fluido

Ecuaciones de continuidad, momento y energía

Los modelos matemáticos de la mayoría de los fenómenos físicos se pueden expresar a partir de sistemas de ecuaciones en derivadas parciales cuasi-lineales de primer o segundo orden. En este sentido, a la hora de modelar el flujo de los gases en el interior de conductos de exhaustación, se recurre a las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento, añadiendo una tercera ecuación al anterior sistema de ecuaciones (ecuación de conservación de la energía) para el estudio de la interacción entre fases (gases – partículas de agua), con el fin de contabilizar los fenómenos relacionados con la transferencia y/o intercambio de masa, momento y calor entre fases [5]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v}\vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\bar{\tau}}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot \left(\vec{v}(\rho E + p)\right) = \nabla \cdot \left[k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + \left(\bar{\bar{\tau}}_{eff} \cdot \vec{v}\right)\right] + S_h \tag{3}$$

donde el término S_m representa a la masa añadida a la fase continua (gases de exhaustación) desde la segunda fase dispersa (gotas de agua), p representa a la presión estática, $\rho\vec{g}$ y $\vec{F}$ representan a las fuerzas gravitacionales y a la resultante de las fuerzas externas que actúan sobre el volumen fluido y k_{eff} representa la conductividad efectiva.

Modelo de turbulencia para la fase gaseosa

Un modelo de turbulencia es un procedimiento numérico que permite relacionar los valores medios de las fluctuaciones de las variables con los valores promedio, lo que se conoce como cierre del sistema de ecuaciones. Dentro de los modelos de turbulencia disponibles, se encuentran los de promedio de las ecuaciones de gobierno RANS (*Reynolds Averaged Navier – Stokes*), que permitirán conocer los efectos

de la turbulencia sobre los valores medios de las variables velocidad y presión, dando lugar a un campo de flujo promediado y simulado más uniforme y reduciendo drásticamente el número de puntos de la discretización espacial/temporal necesario para la obtención de las variables buscadas. Una de las variantes, la *realizable k - ε*, presenta las siguientes formas para el cálculo de la energía cinética turbulenta *ε* y su tasa de disipación *k* [6]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + G_k + G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_k \tag{4}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + \rho C_1 S\varepsilon - \frac{\rho C_2 \varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}} + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}C_{3\varepsilon}G_b + S_\varepsilon \tag{5}$$

donde μ_t es la representa a la resistencia viscosa.

Modelado DPM de la fase discreta

Los modelos de fase discreta DPM de Euler – Lagrange consisten en considerar la fase gaseosa como un medio continuo donde se resuelven las ecuaciones de gobierno, mientras que la fase discreta se resuelve mediante el seguimiento de un número elevado de gotas de pequeño tamaño a través del medio gaseoso, intercambiando con este masa, momento y energía. El cálculo de la trayectoria de las partículas se realiza a partir de la integración del balance de fuerzas que actúan sobre cada una de éstas [6]:

$$\frac{du_P}{dt} = F_D(\vec{u} - \vec{u}_P) + \frac{\vec{g}(\rho_P - \rho)}{\rho_P} + \vec{F} \tag{6}$$

donde $\vec{F}$ es la aceleración adicional (fuerza/unidad de masa) y $F_D(\vec{u} - \vec{u}_P)$ es la fuerza de arrastre por unidad de masa, siendo F_D:

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_P d_P^2}\frac{C_D Re}{24} \tag{7}$$

donde $\vec{u}$ es la velocidad del gas, $\vec{u}_P$ es la velocidad de la gota, μ es la viscosidad molecular del gas, ρ es la densidad del gas, ρ_P es la densidad de la gota y d_P es el diámetro de la gota.

Modelo *wave* para generación de sprays

Considerando una inyección con forma cilíndrica de radio a de un líquido a través de un orificio circular a velocidad v contra un gas incompresible y no viscoso de densidad ρ, una superficie axisimétrica, infinitesimal y arbitraria de líquido presentará la forma (polar) [6]:

$$\eta = \eta_0 e^{ikz+\omega t} \tag{8}$$

Para una relación de dispersión $\omega = \omega(k)$, que relaciona la parte real del ratio de crecimiento ω con su número de onda $k = 2\pi/\lambda$, se tienen las soluciones de onda:

$$\phi_1 = C_1 I_0(kr)e^{ikz+\omega t} \tag{9}$$

$$\psi_1 = C_2 I_1(Lr) e^{ikz+\omega t} \tag{10}$$

donde ϕ_1 y ψ_1 son la velocidad potencial y la función de corriente, C_1 y C_2 son constantes de integración, I_0 e I_1 son funciones de Bessel de primera especie, $L^2 = k^2 + \omega/v_1$, y v_1 es la viscosidad cinemática del líquido.

Modelos para el intercambio de calor y masa entre fases

El modelo de calentamiento inerte para una gota se aplicará con una temperatura de gota inferior a la de vaporización y después de que su fracción volátil se haya consumido [6]:

$$T_P < T_{vap} \tag{11}$$

$$m_p \leq (1 - f_{v,0}) m_{p,0} \tag{12}$$

donde T_P es la temperatura de la gota, $m_{p,0}$ es la masa inicial de la gota y m_p es la masa actual. Alcanzada la temperatura de vaporización, ésta seguirá aumentando hasta alcanzar el punto de ebullición, T_{bp} o hasta que la fracción volátil haya sido consumida:

$$T_{vap} \leq T_P < T_{bp} \tag{13}$$

$$m_p > (1 - f_{v,0}) m_{p,0} \tag{14}$$

La ebullición de la gota se producirá cuando ésta alcance la temperatura de ebullición, T_{bp}, y su masa exceda de la fracción no volátil:

$$T_P \geq T_{bp} \tag{15}$$

$$m_p > (1 - f_{v,0}) m_{p,0} \tag{16}$$

3. Planteamiento del problema

El principal objetivo de la simulación consistió en demostrar la viabilidad de mantener la temperatura media de los gases de exhaustación de la turbina de gas por debajo de 523 K (IRSS III) a la salida del conducto de exhaustación, y en todo su rango de funcionamiento, mediante la evaporación total de agua inyectada en forma nebulizada. Para conseguir esto, lo primero que se necesitó fueron datos reales de funcionamiento, en este caso de las turbinas instaladas a bordo de la fragata F105, con el fin de obtener una matriz de datos de los gases de exhaustación en función de su régimen de funcionamiento. Las fuentes de datos fueron las siguientes:

- Informes FAT (*factory acceptance test*).
- Informes SAT (*sea acceptance test*).
- Datos HMI (*human machine interface*) en ejercicios de evaluación operativa de la unidad.
- Datos HMI durante mando SNMG-2 (*Standing NATO Maritime Group 2*) en el Mediterráneo.

Posteriormente se procedió a la obtención del volumen fluido, en el cual se llevaron a cabo las simulaciones, a partir de información del buque (libros de información y planos del sistema de exhaustación), visitas al departamento ENPRO (energía y propulsión) de la Escuela de Especialidades Antonio de Escaño y al propio buque en el Arsenal Militar de Ferrol. Una vez obtenidos los volúmenes (colector, mezclador y exhaustación) que conforman la totalidad del sistema de exhaustación de la turbina de gas Nº 1, se procedió a la discretización de dicho volumen (dominio de cálculo), bajo las siguientes premisas:

- Esquema de discretización por volúmenes finitos directamente en el espacio físico.
- Mallado estructurado mediante hexaedros 3D para los volúmenes mezclador y exhaustación.
- Mallado no estructurado mediante tetraedros 3D para el volumen colector.
- Empleo del método de generación de malla automatizado.

Las siguientes figuras resumen el proceso de obtención de la geometría del problema fluido, así como su discretización:

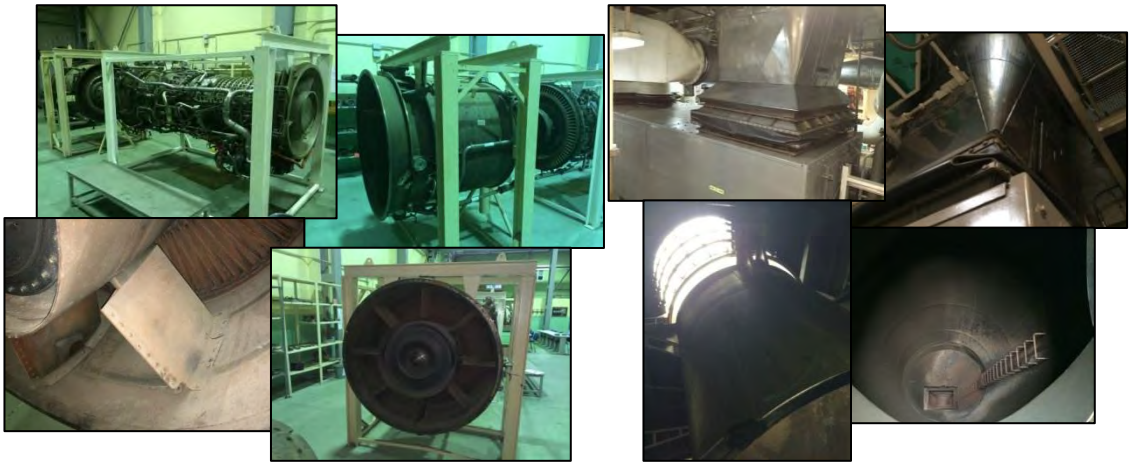


Ilustración 2. Imágenes de la turbina GE LM2500 del departamento ENPRO y del conjunto de exhaustación Nº 1 del buque F105

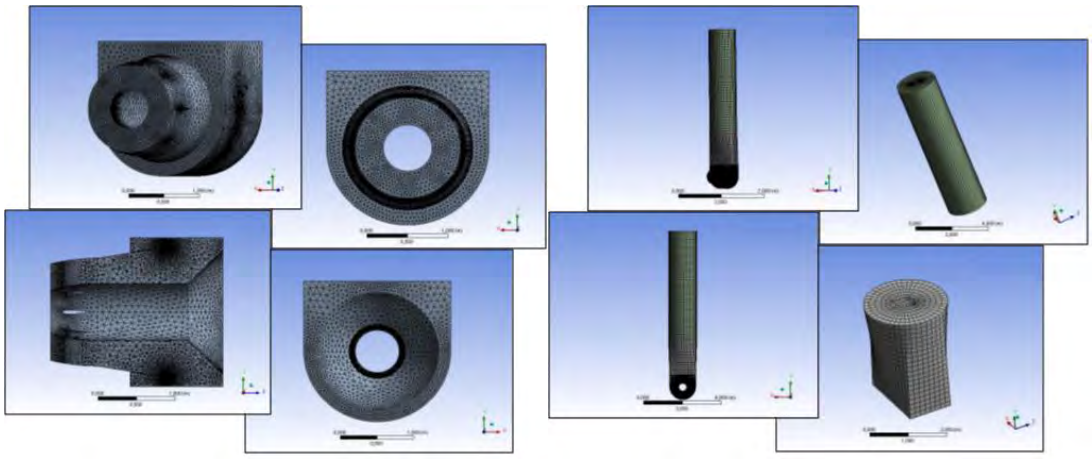


Ilustración 3. Mallados de volumenes mezclador, exhaustación y conjunto exhaustación Nº 1 del buque F105

Independientemente de la metodología empleada a la hora de resolver las ecuaciones de gobierno, se deben especificar unas condiciones iniciales y de contorno para la fase continua (estado variables fluidas para t = 0). Las siguientes tablas resumen, en función del grado de palanca seleccionado, las condiciones iniciales y de contorno de los gases de exhaustación en la exhaustación de la TTGG Nº 1 empleados en este estudio:

PALANCA	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T7 (K)	515	535	554	574	593	613	633	652	672	691	711
D (kg/m³)	0,683	0,657	0,635	0,613	0,593	0,574	0,556	0,539	0,523	0,509	0,495
C ESP. (kj/kg·K)	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15
C. TERM. (W/m·K)	0,0401	0,0415	0,0428	0,0442	0,0455	0,0469	0,0483	0,0496	0,0510	0,0524	0,0538
VISC DIN (Pa·s)	2,79E -05	2,87E -05	2,95E -05	3,03E -05	3,11E -05	3,18E -05	3,26E -05	3,34E -05	3,42E -05	3,49E -05	3,57E -05
PRESIÓN (bar)	1,000	1,003	1,005	1,007	1,010	1,014	1,019	1,027	1,038	1,052	1,070
PRESIÓN (Pa)	100000	100259	100472	100693	100976	101375	101944	102737	103808	105211	107000
VEL. AXIAL (m/s)	20,4	24,9	30,3	36,8	44,6	54,1	65,6	79,3	95,9	115,7	139,7
TP (rpm)	974	1109	1263	1439	1638	1866	2125	2420	2756	3138	3574
TP (rad/s)	102	116	132	151	172	195	223	253	289	329	374
D_H (m)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
RE D_H	3,50E +05	3,98E +05	4,55E +05	5,20E +05	5,95E +05	6,82E +05	7,80E +05	8,95E +05	1,03E +06	1,18E +06	1,35E +06
I. TURB. (%)	3,2	3,2	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7

Tabla 1. Condiciones iniciales de los gases de exhaustación de la turbina Nº 1 vs grado de palanca

ZONA	CONDICIÓN	VARIABLES
ENTRADA	VELOCITY INLET MASS-FLOW INLET	COMPONENTES VELOCIDAD FLUJO MÁSICO
		PRESIÓN ESTÁTICA
		TEMPERATURA
		PARÁMETROS TURBULENCIA
SALIDA	PRESSURE OUTLET	PRESIÓN ATMOSFÉRICA
PAREDES	WALL	RUGOSIDAD
		CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
CONEXIÓN VOLUMENES	INTERFACE	

Tabla 2. Resumen de las condiciones de contorno aplicadas al volumen de los gases de exhaustación de la turbina Nº 1

La siguiente tabla resume las condiciones iniciales y de contorno a aplicar a la fase discreta, siendo a su vez las iniciales de dos tipos, fijas (no variaron durante el estudio) y variables (variaron de forma secuencial durante el estudio):

CONDICIONES INICIALES Y DE CONTORNO DPM		
INICIALES	FIJAS	POSICIÓN INYECCIÓN
		DIRECCIÓN Y SENTIDO INYECCIÓN
		TEMPERATURA GOTAS
		FLUJO MÁSICO
	VARIABLES	VELOCIDAD INYECCIÓN
		ÁNGULO CONO
		TAMAÑO GOTAS
CONTORNO		REFLECT
		ESCAPE

Tabla 3. Resumen de las condiciones iniciales y de contorno aplicadas a la fase discreta

Los siguientes gráficos resumen el proceso de obtención de las tres distribuciones de tamaño de gota de spray Rosin – Rammler, que se emplearon en este estudio, a partir del rango de diámetros de gota seleccionado de 50 – 150 µm, MVD (diámetro volumétrico medio) de distribución de 113 µm y para valores de parámetro de distribución N iguales a 4, 8 y 12:

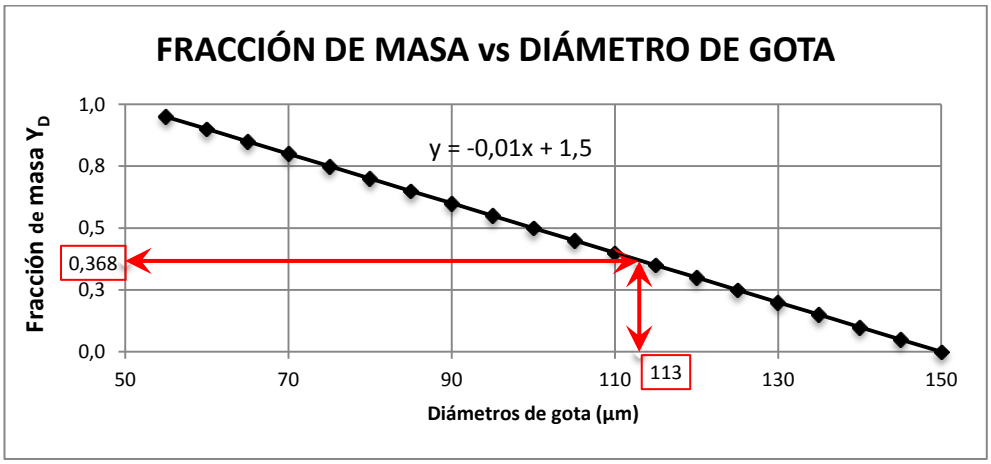


Gráfico 1. Cálculo del MVD para la distribución linealizada (e-1 = 0,368)

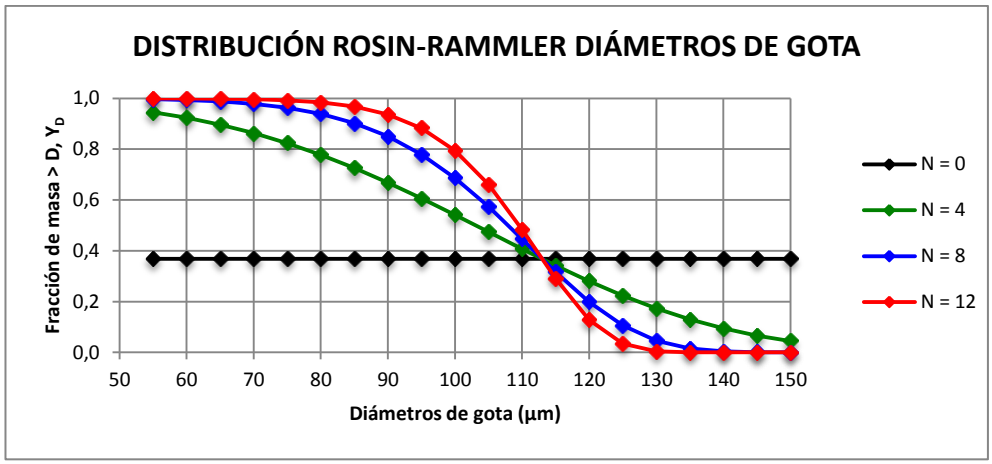


Gráfico 2. Representación distribución tamaños gota Rosin-Rammler en función del parámetro N

4. Resultados

Además del objetivo de mantener la temperatura media de los gases de exhaustación de la turbina de gas por debajo de 523 K (IRSS III) a la salida del conducto de exhaustación, se estudió la incidencia de los siguientes parámetros en la altura alcanzada por la fase discreta hasta su evaporación total:

- Incidencia de la velocidad inicial V de gotas en la altura h alcanzada por la fase discreta.
- Incidencia del parámetro N (Rosin-Rammler) en la altura h alcanzada por la fase discreta.
- Incidencia del semiángulo del cono de inyección θ en la altura h alcanzada por la fase discreta.

Todo este proceso se llevó a cabo en dos etapas, una primera en la que se procedió a la modelización del flujo a la salida de la turbina de potencia, con el fin de determinar las características del flujo (campos de velocidades y presiones) y una segunda en la que se estudió la interacción entre fases, mediante la variación de forma secuencial de los diferentes parámetros anteriormente expuestos.

La cantidad de fase discreta inyectada para cada posición de palanca (régimen de turbina) fue la necesaria para reducir la temperatura de los gases de exhaustación por debajo del nivel de supresión de firma IRSS III (523 K), a partir de la evaporación total de la misma.

A la hora de modelar los sprays utilizados en las simulaciones, se seleccionó la configuración geométrica de cono hueco, con velocidades V de partícula 3x, 4x y 5x (relativas y en sentido opuesto a la de paso de los gases por el punto de inyección), distribuciones de partículas Rosin-Rammler con tamaños de gota Ø de 50 a 150 µm, parámetros de distribución N de 4, 8 y 12, y semiángulos de cono de inyección θ de 15º, 30º y 45º. La siguiente ilustración muestra, a modo de ejemplo, los resultados gráficos obtenidos para las variables V y P (velocidad y presión) para la condición de palanca 50:

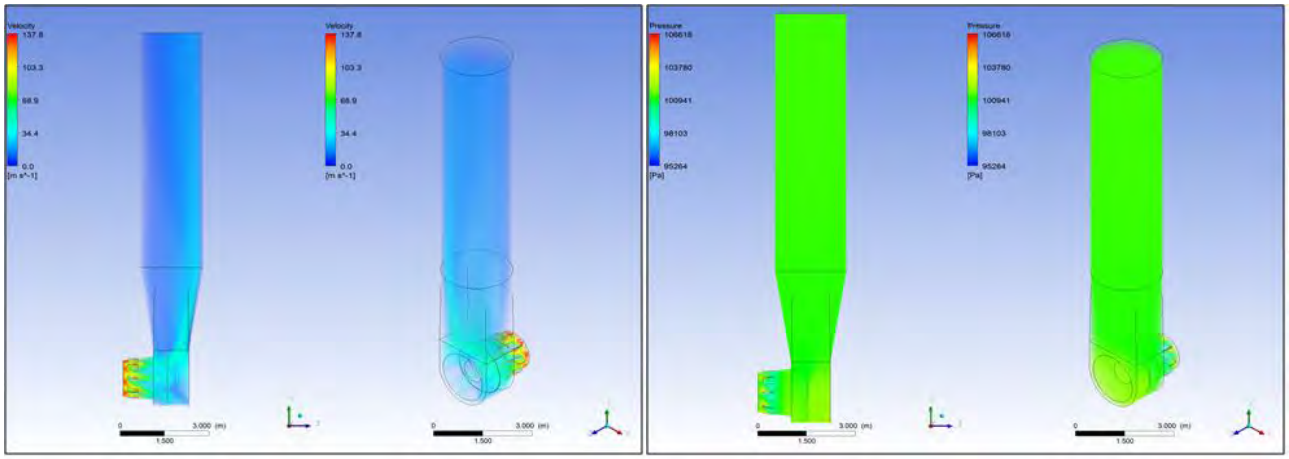


Ilustración 4. Campos de velocidades y presiones de los gases de exhaustación en la condición de PALANCA 50

La siguiente ilustración muestra, a modo de ejemplo, los resultados del modelo DPM de concentración de fase discreta y temperatura resultante de los gases de exhaustación, para la configuración de fase discreta FL_{DPM} = 0,9 kg/s, T_{gota} = 289 K, θ = 15º, N = 12 y V = 77,5 m/s y régimen turbina de gas PALANCA 40:

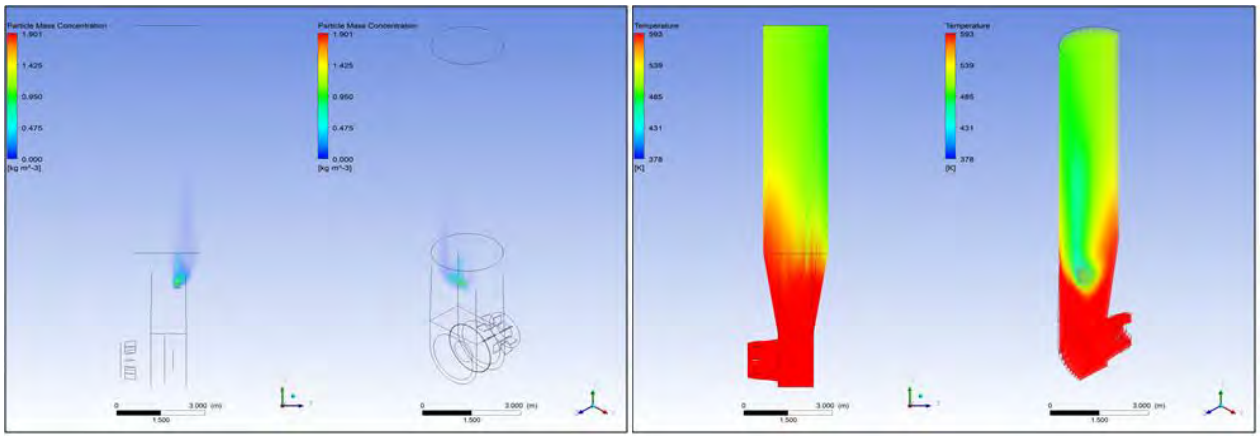


Ilustración 5. Valores de concentración de fase discreta y temperaturas del modelo DPM 3D de interacción entre fases para PALANCA 40

Las siguientes gráficas resumen los resultados obtenidos de alturas h de fase discreta alcanzadas, previa evaporación total, en el conducto de exhaustación en base a dos grupos de parámetros N, V y θ, V:

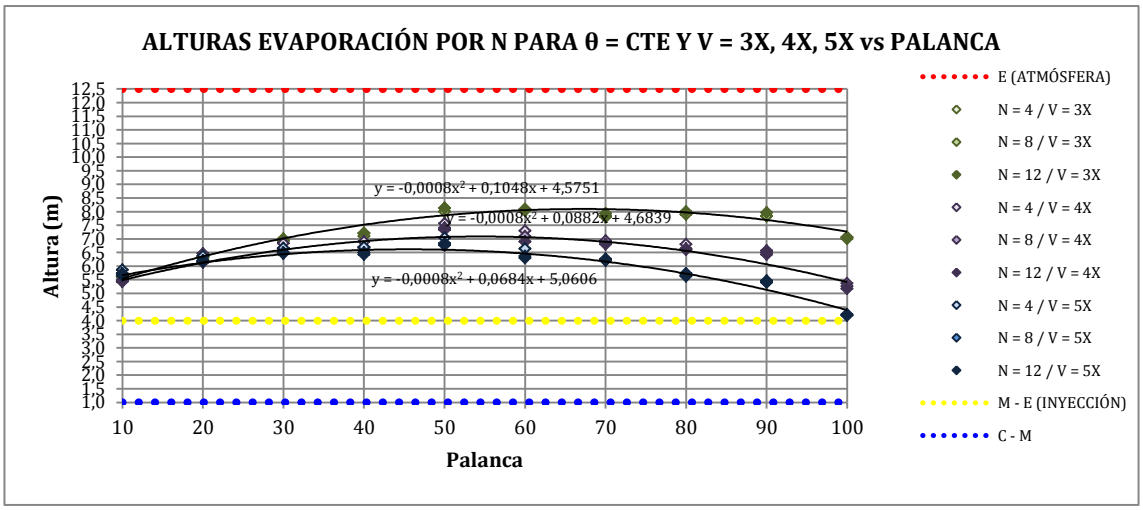


Gráfico 3. Alturas evaporación por N para θ = cte y V = 3x, 4x, 5x vs grado de palanca

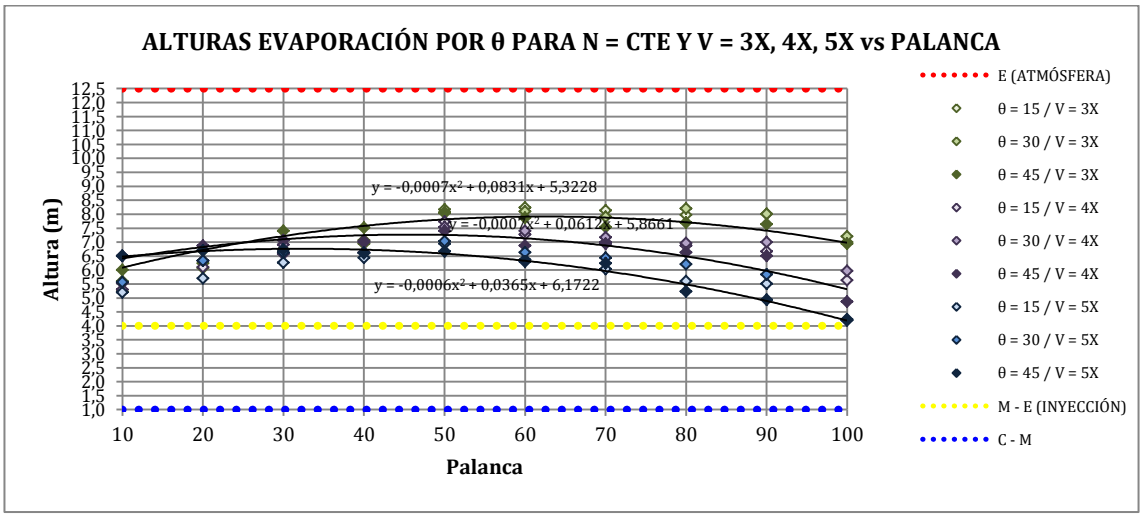


Gráfico 4. Alturas evaporación por θ para N = cte y V = 3x, 4x, 5x vs grado de palanca

5. Conclusiones

La incidencia de los parámetros V, θ y N en la altura h alcanzada por la fase discreta fue la siguiente:

- Velocidad inyección V, en relación inversa.
- Semiángulo de inyección θ, en relación inversa.
- Parámetro de distribución de gotas N, en relación inversa.

La siguiente gráfica resume los valores de temperatura de los gases de exhaustación sin ningún sistema de refrigeración IRCM, la temperatura resultante de los gases (nivel IRSS III – 523 K) con configuración óptima de spray – *condición A* ($V = 5\text{x},\ \theta = 45$ y $N = 12$) y la temperatura resultante de los gases por superposición del efecto del sistema pasivo eductor-difusor. Como se puede comprobar, el sistema híbrido de refrigeración de gases aquí propuesto permitió rebajar la temperatura de los mismos por debajo del nivel de supresión de firma IRSS IV – 423 K, a partir de un régimen de turbina de gas correspondiente a la posición de palanca 40:

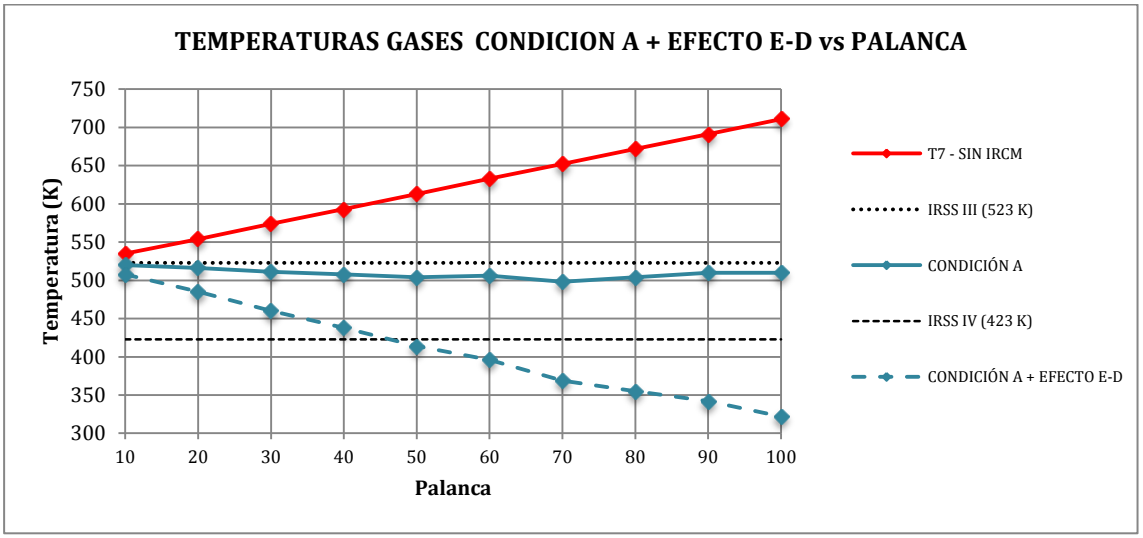


Gráfico 5. Temperaturas de los gases con spray condición A más efecto E/D vs grado de palanca

6. Referencias

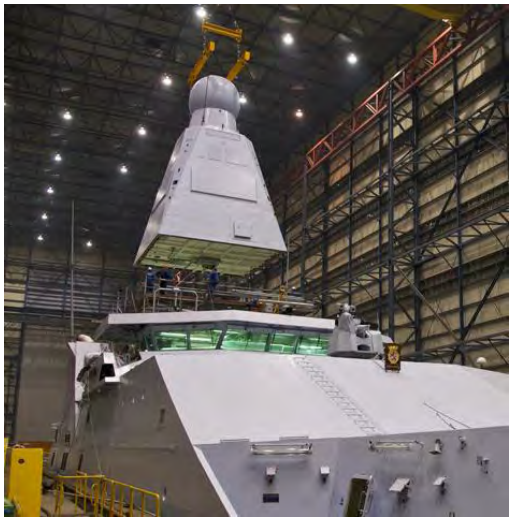
[1] Casanova Rivas, E., (2009). El Buque de Guerra. Madrid, España: Fondo Editorial de Ingeniería Naval.
[2] Riola Martínez, J. M., Pernas Urrutia, J. M. (2014) Reducción de la firma IR mediante la refrigeración de los gases de exhaustación en buques de guerra, BTIA (ETSIAN – JEPER – DIENA), nº 6, páginas 32 – 37
[3] Thompson, J., Vaitekunas, D., (2000). IR Signature Suppression of Modern Naval Ships. Davis Engineering Ltd., Ottawa, Canadá.
[4] Hiscoke, B., (2000). IR Suppression – Exhaust Gas Cooling by Water Injection. Davis Engineering Ltd., Ottawa, Canadá.
[5] Crespo Martínez, A., (2006). Mecánica de Fluidos. Madrid, España: Thomson Editores Spain Paraninfo S.A.
[6] ANSYS, Inc., (2011). FLUENT Theory Guide Release 14.0. Canonsburg, USA.

¿Por qué un Mástil Integrado?

CF (CIA-EOF) Indalecio Seijo Jordán
ARFER

1. INTRODUCCIÓN

Las Armadas de todo el mundo están mostrando un gran interés en el concepto de sistemas de mástil integrado para sus nuevos buques. Existe una gran variedad de diseños que están actualmente en oferta o en desarrollo con el objetivo de combinar una amplia gama de sensores, sistemas de comunicaciones, y otros componentes en una sola estructura del mástil.



2. ¿POR QUÉ USAR UN SISTEMA MODULAR?

Este nuevo sistema presenta una importante serie de ventajas a considerar respecto a los sistemas convencionales (más adelante trataremos con más detalle algunas de ellas):

- Todos los sistemas pueden ser operados desde un gestor del sistema común, que actúa como el "cerebro" del mástil integrado.
- Facilidad a la hora de detectar fallos en un equipo.
- Reducción de firmas.
- Reducción del mantenimiento al situarse varios equipos en el mismo lugar.
- 360 grados de campo de visión, por tratarse de un sistema tipo cono.

Evidentemente los fabricantes apuntan como ventajas otras que, a nuestro juicio, todavía están por demostrar:

- Los equipos pueden actuar simultáneamente sin entrar en conflicto.
- Fácil instalación, al encontrarse todo en un mismo módulo.
- Importante ahorro frente a los sistemas anteriores.

Sin embargo cuenta con un gran inconveniente a pesar de todos los puntos positivos y es la “vulnerabilidad” que supone el concentrar tantos equipos en un mismo lugar del buque.

3. LA SOLUCIÓN UNIMAST

La presentación del sistema de mástil multisensor UNIMAST integrado de Finmeccanica-SELEX y más recientemente el sistema de mástil integrado para el SEA 5000 australiano demuestran el creciente interés de las Armadas de todo el mundo en los sistemas modernos de mástil. Conceptos como UNIMAST se caracterizan por una serie de condiciones que llevarán a la vanguardia al diseño de mástil integrado: dotación reducida, bajo riesgo de integración, baja interferencia, 360 grados de campo de visión, reducción de firmas…

Incluyendo en su interior un abundante número de sistemas (radares aéreos y de superficie, radares de navegación, sistemas de vigilancia EO, sistemas de comunicaciones, EW y suites FIB), un sistema de mástil integrado moderno puede instalarse a bordo de una gran variedad de buques de guerra (OPV, corbetas, destructores, buques de asalto anfibio y portaaviones).

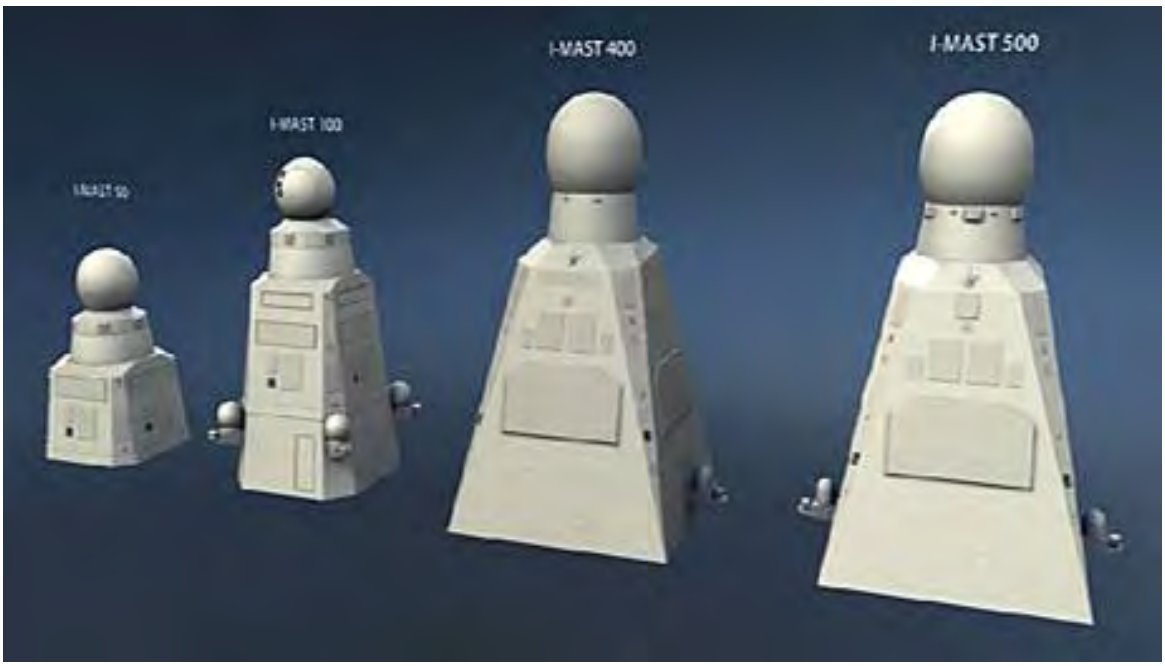
UNIMAST integra un sistema de radar multifunción de tipo AESA, dispositivos FIB, sistemas de vigilancia EO y comunicaciones (Satcom). Según SELEX, UNIMAST ofrece importantes beneficios, como que cada

sensor tiene un campo de vista sin obstrucciones, y los sistemas pueden funcionar simultáneamente sin entrar en conflicto.

4. MÁSTIL INTEGRADO IM-400 e IM-100

Situado en la vanguardia de la tecnología de mástil integrado, THALES ha desarrollado varios conceptos que se pueden adaptar a las especificaciones del cliente. Una de las propuestas de la compañía es el mástil integrado IM-400, que ya ha sido seleccionado por los Marina Real de los Países Bajos para el Joint Support Ship (JSS) y los cuatro OPV construidos por Damen Schelde Naval Construcción Naval (NSNS). El IM-100 es mástil integrado más pequeño y modular que ha sido diseñado para barcos más pequeños, tipo corbeta.

Un modelo a escala de la fragata DW300H de 3.000 toneladas (diseño de Daewoo Shipbuilding and Marine Ingineering (DSME)) llevaba un mástil integrado similar al IM-400 de THALES Nederland. Además, STC Canadá Marine propone diseños de OPV equipados con la tecnología de mástil integrado.



Según THALES Nederland, el sistema IM-400 representa actualmente la única solución integrada completa adaptada a un buque de guerra en servicio. También se está considerando como una opción para la actualización de las fragatas clase LCF en servicio. La estructura del mástil IM-400 contiene la SMILE (SEAMASTER 400) y SEASTAR (SEAWATCHER 100) como antena de cuatro caras, la GATEKEEPER con 360 grados vigilancia EO panorámica y sistema de alerta, el Sistema Integrado de Comunicaciones de Antena (ICAS) y un IFF no giratorio además de otros subsistemas. Otros sistemas que se pueden agregar a los IM-400 incluyen un mástil de comunicaciones DF (radiogoniometría) que está siendo desarrollado y promovido por Plath GmbH.

THALES Nederland también ha desarrollado un mástil integrado específico para las cuatro fragatas multipropósito tipo M en servicio.

5. MÁSTIL INTEGRADO C-MAST

A través de una colaboración establecida con Airbus Defence e Ineo Defensa, el constructor naval francés Construcions Mecaniques de Normandie (CMN) ha desarrollado el sistema de mástil integrado compacto y ligero C-MAST. La solución se ofrece para los buques de clase CL65 S, FS 56, SWAO 53 y patrulleros.

La DNCS también ha desarrollado otros conceptos de mástil integrado. Una propuesta incluye un sistema de un solo mástil en forma de cono que se ajuste al OPV multimisión "L'Adroit" (P 725). La superestructura del mástil contiene: una radar THALES'ALTESSE-C de banda ancha, ESM, suite de comunicaciones, sistema de radar Vigile LW (RESM), además de USV´s y UAU´s y un radar de navegación de superficie Terma's SCANTER 6002. La solución es escalable, ya que puede ser equipada con diferentes sistemas de acuerdo a las necesidades del cliente.

Este diseño de mástil también se incluyó en el BRAVE (Batiment ravitailleur d'Escadre), así como en los buques de patrulla VP-80 y OPV-75 de Kership. Además seis corbetas de combate Gowind construidas bajo licencia de Boustead Heavy Industry Corporation (BHIC) para la Marina Real de Malasia incluirán un mástil similar equipado por THALES Nederland's.

6. NAVANTIA Y EL SISTEMA DE MÁSTIL INTEGRADO

Uno de los elementos más novedosos que Navantia pretende incorporar a la próxima generación de fragatas *F110* es el mástil integrado, una nueva herramienta que se elevará en un espacio de entre tres y cuatro cubiertas en el que se aglutinarán los radares *phased array,* el equipo de guerra electrónica (EW), el Data Link, los sistemas SATCOM y las ayudas a la navegación aérea. Todo en uno evitando elementos giratorios.

Además este tipo de mástil permite ubicar los equipos muy próximos a sus correspondientes antenas, evitando los problemas que se presentan habitualmente. Se prevé también que este sistema lleve incorporadas armas no letales, aunque como ya hemos mencionado en el primer apartado del trabajo concentrar tantos elementos en un mismo punto puede convertirlo en un punto débil.

Este nuevo modelo de fragata incluye dentro del mástil integrado un sistema de radar aéreo que debe ser de 2 bandas, una de exploración y otra para dirección de tiro de artillería y guiado de misiles. Existen varias posibilidades como utilizar un radar phased array de Lockheed Martín, el SPY 1 sin el sistema Aegis ó bien optar por un desarrollo nacional ó utilizar un radar 3D de estado sólido evolucionado del “Lanza” de Indra.

Aplicación de diagramas de fallo al análisis de riesgos a bordo de submarinos

CC (CIA-EOF) Pedro Antonio Casas Alcaide
Doctor Ingeniero Naval por la UPM
JAL-DIC

Resumen.- En este documento se ilustra el uso de diagramas de fallo en el análisis de riesgos a bordo de submarinos mediante un ejemplo de aplicación sencillo: la comparación de varias alternativas de diseño posibles en relación con el sistema de soplado en emergencia de tanques de lastre.

1.- Introducción

Los diagramas de fallo son representaciones lógicas de la manera en que puede fallar un sistema complejo (formado por diversos subsistemas) basadas en la definición de una serie de componentes simples cuyos fallos (denominados eventos de inicio) se combinan mediante puertas lógicas organizadas según la estructura interna del sistema bajo estudio.

Dichos diagramas constituyen una herramienta muy utilizada en el campo del análisis de riesgos, siendo posible hacer uso de la misma modulando a voluntad el grado de detalle al que se desea bajar en la definición conceptual del sistema a analizar. Así por ejemplo, debajo de cada uno de los eventos de inicio incluidos en los dos escenarios considerados en la referencia [1] podría construirse un diagrama de fallo detallando la mecánica que conduce a la aparición de cada uno de ellos una vez conocida la solución técnica usada a bordo para los sistemas correspondientes.

En este documento se ilustra el uso de diagramas de fallo en el análisis de riesgos a bordo de submarinos mediante el desarrollo de un ejemplo simplificado en relación con uno de los eventos de inicio incluidos en la citada referencia [1]: el fallo del sistema de soplado en emergencia de los tanques de lastre. A través de dicho ejemplo se pretende:

- Entender la estructura lógica de los procesos que pueden dar lugar a la falta de capacidad del sistema de soplado para cumplir con su función en caso de emergencia por vía de agua.
- Establecer formulaciones aproximadas para estimar la probabilidad de llegar a la situación arriba citada.
- Llevar a cabo un estudio comparativo entre varias alternativas de diseño posibles, definidas únicamente a nivel conceptual dado el carácter divulgativo del documento.

2.- Análisis del fallo del sistema de soplado en emergencia de tanques de lastre

2.1.- Opciones de diseño consideradas

En todo lo que sigue se va a suponer un submarino de casco sencillo con 4 tanques de lastre: 2 a popa del casco resistente y 2 a proa del casco resistente.

OPCION 1

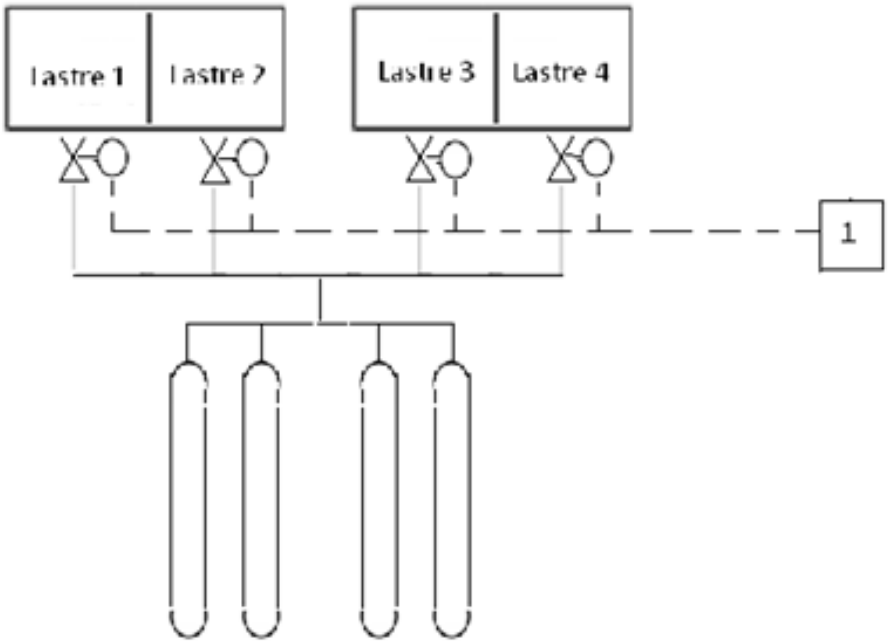


Fig. 1.- Diseño conceptual del sistema de soplado, Opción 1
(1.- Sistema de accionamiento del soplado)

La opción de diseño considerada en este punto (ver figura 1) es una de las más simples que pueda concebirse y consiste en soplar de forma simultánea los 4 tanques de lastre existentes mediante el sistema de accionamiento correspondiente (1), sin posibilidad de regular la cantidad de aire que alcanza cada uno de dichos tanques.

Se observa, por tanto, que a cambio de renunciar al control del ángulo de inclinación longitudinal del submarino (al menos mediante el propio sistema de soplado), la probabilidad de falsas maniobras por parte del operador se reduce prácticamente a cero.

Se hace notar que el nivel de detalle al que se ha bajado en la figura 1 es el estrictamente necesario a los efectos del presente documento.

OPCIÓN 2

El diseño conceptual considerado en este punto (ver figura 2) para el sistema de soplado de tanques de lastre es más sofisticado que el correspondiente a la opción 1, habiendo sido elegido únicamente para ilustrar la aplicación de los diagramas de fallo mencionados en la introducción.

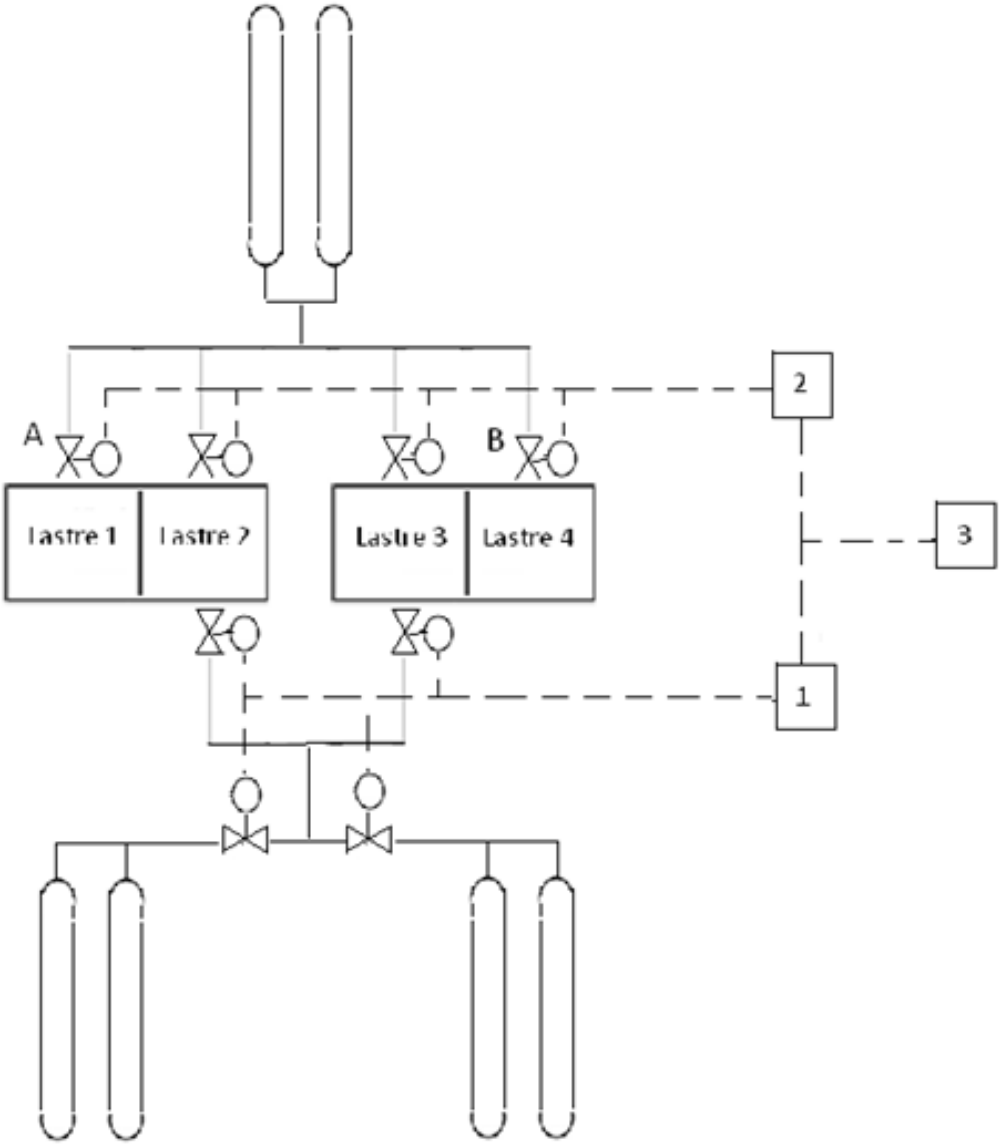


Fig. 2.- Diseño conceptual del sistema de soplado, Opción 2
(1.- Sistema de accionamiento del soplado primario, 2.- Sistema de accionamiento del soplado secundario, 3.- Sistema automático de seguridad contra falsas maniobras, A.- Válvula de soplado del lastre nº1, B.- Válvula de soplado del lastre nº4)

Según esta opción, sería necesario el uso de dos sistemas de soplado independientes: primario y secundario (partes inferior y superior de la figura 2 respectivamente). Un posible procedimiento de actuación en caso de emergencia sería el siguiente:

- Para cotas inferiores a un cierto valor X, el soplado se realiza de forma simultánea a los 4 tanques de lastre existentes mediante el sistema de accionamiento secundario (2), de forma análoga a la indicada para la opción 1.

- Para cotas superiores al valor X arriba mencionado, el soplado se realiza de forma simultánea a los tanques de lastre 2 y 3 mediante el sistema de accionamiento primario (1), usando en este caso el sistema de soplado secundario (2) para corregir la inclinación longitudinal del submarino mediante la introducción discrecional de aire en los tanques 1 y 4.

El procedimiento de actuación arriba presentado resulta complicado si se tiene en cuenta que deberá ejecutarse en condiciones de emergencia donde no hay mucho tiempo para pensar y que una falsa maniobra por parte de la dotación podría dar lugar a situaciones peligrosas (por ejemplo, soplar con el sistema primario en cotas inferiores al valor X podría dar lugar a la rotura por sobrepresión de algún tanque de lastre, incapacitando a todo el sistema para cumplir la función asignada).

Se observa, por tanto, que a cambio de posibilitar el control del ángulo de inclinación longitudinal del submarino mediante el propio sistema de soplado, la probabilidad de falsas maniobras por parte del operador aumenta significativamente, lo que obliga a introducir un sistema automático de seguridad (3) para corregir dicha situación (innecesario en la opción 1).

En consonancia con la opción 1, se hace notar que el nivel de detalle al que se ha bajado en la figura 2 es el estrictamente necesario para efectuar el análisis objeto de este documento.

2.2.- Hipótesis de partida

Los resultados que se presentan en este documento están basados en las hipótesis que aparecen a continuación:

H1.- Únicamente se considera el efecto de los eventos de inicio siguientes:

F1	Fallo del sistema de accionamiento del soplado primario
F2	Fallo del sistema de accionamiento del soplado secundario
F3	Fallo del sistema automático de seguridad para impedir falsas maniobras
FA	Fallo por congelación de la válvula de soplado A
FB	Fallo por congelación de la válvula de soplado B
V1	Vía de agua en cámara de máquinas
V2	Vía de agua fuera de cámara de máquinas

Dado que quizá no resulten evidentes, se llama la atención del lector sobre los puntos siguientes:

- El resto de fallos posibles en el sistema de soplado no se considera relevante a los efectos del presente documento, asumiéndose que ambas opciones son similares en este sentido (fallo por baja presión en las botellas de soplado, rotura de tuberías, falta de estanqueidad en algún tanque de lastre, etc.)
- Se supone que, en el momento de producirse la vía de agua, el submarino se encuentra en una cota superior al valor X mencionado en la opción 2 del punto 2.1 (Esta restricción se ha introducido únicamente para simplificar el análisis correspondiente).

H2.- Los eventos citados en H1 se consideran independientes unos de otros, no habiéndose analizado en detalle los posibles modos en los que puede presentarse cada uno de ellos. En este sentido, se supone adicionalmente que:

- Los eventos tipo F resultan catastróficos en todos los casos (impiden al sistema de soplado llevar a cabo la función para la que fue diseñado).
- Los eventos tipo V no dan lugar en ningún caso a sobrepesos que no puedan ser compensados por los aumentos de flotabilidad que proporciona el sistema de soplado.

H3.- Se asume que la opción 1 ha sido calculada para afrontar vías de agua en cámara de máquinas exclusivamente, dado que la imposibilidad de controlar el ángulo de inclinación longitudinal del submarino con

dicha opción de diseño impide su uso efectivo con vías de agua en cualquier punto de la eslora del casco resistente.

Esta hipótesis resulta bastante razonable teniendo en cuenta que es precisamente en la zona de máquinas donde suele encontrarse la mayor concentración de conducciones de agua salada.

H4.- Se asume que la opción 2 permite afrontar vías de agua en cualquier punto de la eslora del casco resistente, dada la capacidad de controlar el ángulo de inclinación longitudinal del submarino que presenta dicha opción de diseño.

H5.- Se asume que la probabilidad de tener una vía de agua en cámara de máquinas es proporcional a la longitud de las conducciones situadas en cámara de máquinas sometidas a presión de inmersión (L_1) y que lo mismo le sucede a la probabilidad de tener una vía de agua fuera de cámara de máquinas en relación con la longitud del resto de conducciones del submarino sometidas a presión de inmersión (L_2).

H6.- A efectos de estimar las probabilidades asociadas al fallo de los sistemas de accionamiento/seguridad de soplado (F1, F2 y F3) durante una inmersión, se va a suponer lo siguiente:

- Antes de iniciar una inmersión se verifica el correcto funcionamiento de los sistemas de accionamiento/seguridad arriba mencionados.
- La duración de una inmersión típica (D) se encuentra alrededor de las 600 horas (incluyendo periodos en SNORKEL).
- Las tasas de fallo correspondientes a los sistemas de accionamiento/seguridad arriba mencionados van a compartir un valor único (T_F) que puede establecerse alrededor de los 10^{-5} fallos/hora.
- Cualquier vía de agua (ya sea tipo V1 o V2) se va a producir al final de la inmersión, que es cuando la probabilidad de fallo asociada a los eventos F1, F2 y F3 alcanza su valor máximo.

Cabe observar que la tasa de fallo arriba indicada es una estimación muy poco elaborada (basada en los datos incluidos en la referencia [4]), a pesar de lo cual se considera suficiente dada la naturaleza comparativa del estudio objeto de esta parte del documento.

H7.- Se asume que la probabilidad de fallo por congelación en las válvulas de soplado de los tanques de lastre 1 y 4 (eventos FA y FB respectivamente), una vez que se hace uso de ellas en régimen continuo, va a tener un valor único (P_C) para ambas.

Dado que no se dispone de datos concretos en relación con esta probabilidad, se llevará a cabo un estudio paramétrico (ver punto 2.4) que permita valorar el nivel exigible en el proceso de certificación (requisitos de diseño, de control de calidad, etc.) que se establezca en relación con la capacidad de las válvulas arriba citadas para funcionar de manera continua a las temperaturas esperables durante el proceso de estrangulación que sufre el aire al circular por las mismas.

H8.- Se va suponer despreciable la probabilidad de falsas maniobras (fallo humano) en el manejo de las válvulas de soplado A y B para corregir las inclinaciones longitudinales del submarino.

Esta hipótesis presupone que el adiestramiento de la dotación en el simulador resulta totalmente efectivo en este sentido, y aunque bastante optimista, se ha usado para simplificar el desarrollo del ejemplo objeto de esta parte del documento (en cualquier caso, el autor no dispone de datos fiables al respecto).

2.3.- Diagramas de fallo

OPCION 1

Haciendo uso de la información contenida en los dos puntos anteriores resulta inmediato llegar al diagrama de fallos correspondiente a la opción 1 (ver figura 3).

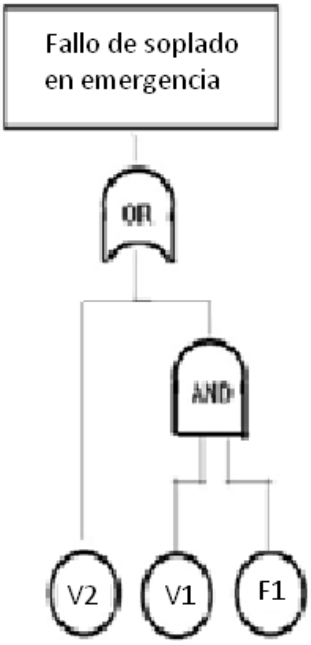


Fig. 3.- Diagrama de fallos correspondiente al diseño conceptual opción 1

Tal y como puede verse en la figura 3, una vía de agua fuera de cámara de máquinas (V2) impediría al sistema de soplado cumplir adecuadamente su función: permitir al submarino alcanzar la superficie de manera estable.

Usando teoría básica de probabilidades (ver por ejemplo referencias [2] y [3]), así como la hipótesis H5, es fácil deducir una expresión simplificada para la probabilidad de fallo del sistema de soplado en cumplir la función asignada en caso de emergencia:

$$P_1 = T_F D + L_2/L_1 \qquad (1)$$

En contraste con la opción 1, el uso de la información contenida en los dos puntos anteriores no permite establecer diagramas de fallo para la opción 2 de forma directa, siendo necesario el aporte de información adicional sobre la incidencia que tiene la aparición de vías de agua fuera de cámara de máquinas (V2) en el comportamiento del sistema de soplado.

En este sentido, se han considerados 2 casos alternativos:

OPCION 2.- Caso A

Se supone que el sistema de soplado secundario resulta innecesario ante una vía de agua en cámara de máquinas (V1), restringiéndose la necesidad de utilizarlo únicamente en caso de vías de agua fuera de cámara de máquinas (V2), al objeto de corregir la inclinación longitudinal del buque durante el ascenso a superficie.

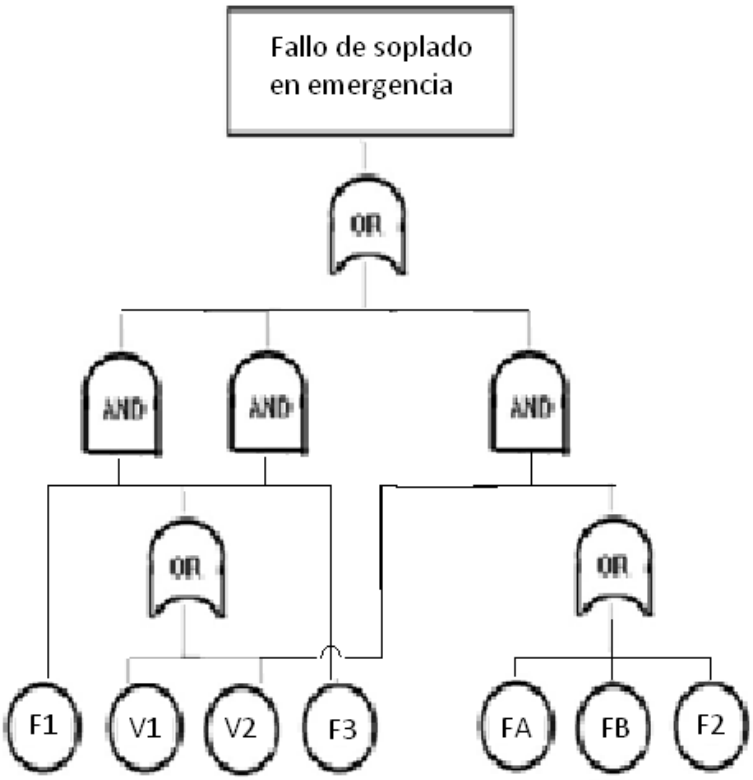


Fig. 4.- Diagrama de fallos correspondiente al diseño conceptual opción 2, caso A

El diagrama de fallos correspondiente puede verse en la figura 4, en donde se aprecia que el fallo del sistema de soplado secundario, inducido por el fallo de alguno de sus componentes (FA, FB o F2), únicamente es relevante cuando se produce una vía de agua fuera de la cámara de máquinas (Obsérvese que la puerta lógica AND situada a la derecha de la figura únicamente se activa en dicho caso).

Usando de nuevo teoría básica de probabilidades junto con la hipótesis H5 es fácil deducir una expresión simplificada para la probabilidad de fallo del sistema de soplado en cumplir la función asignada en caso de emergencia:

$$P_{2A} = 2T_F D + (L_2/L_1)(3T_F D + 2P_C) \qquad (2)$$

<u>OPCION 2.- Caso B</u>

Se supone que el sistema de soplado secundario resulta necesario para reaccionar en emergencia por vía de agua tanto en cámara de máquinas (V1) como fuera de cámara de máquinas (V2), al objeto en ambos casos de corregir la inclinación longitudinal del buque durante el ascenso a superficie.

El diagrama de fallos correspondiente puede verse en la figura 5, en donde se aprecia la diferencia respecto del caso A: una vez fallado el sistema de soplado secundario, la puerta lógica AND situada a la derecha de la figura se activará tanto si se produce vía de agua en cámara de máquinas (V1) como fuera de ella (V2).

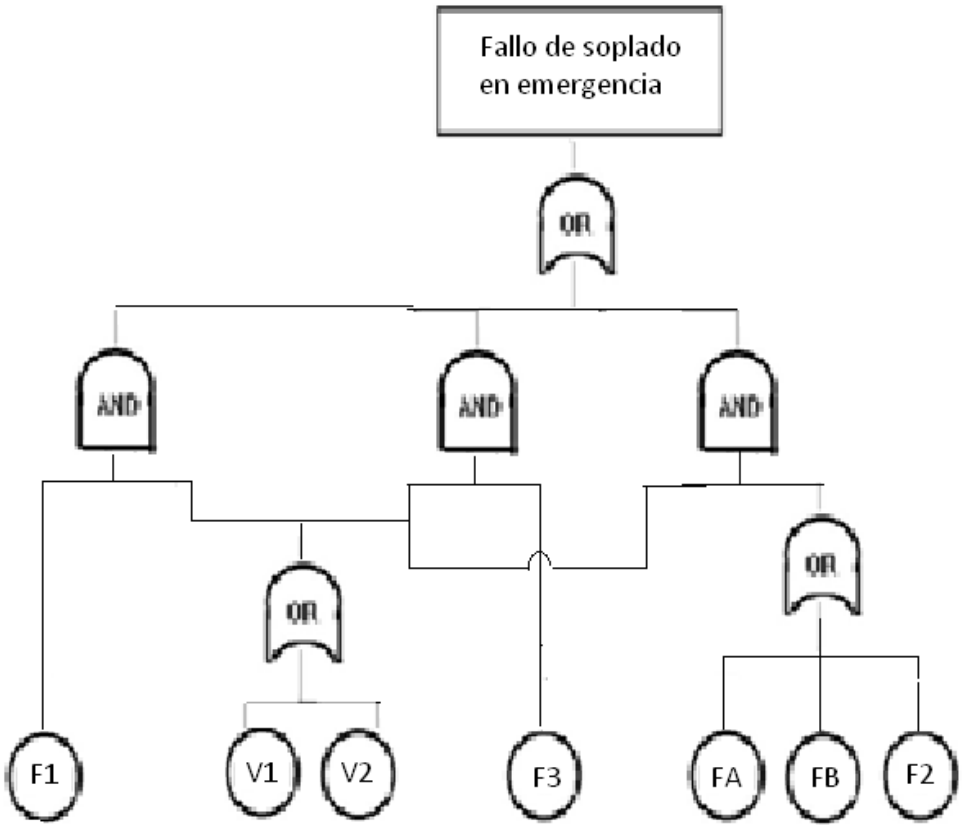


Fig. 5.- Diagrama de fallos correspondiente al diseño conceptual opción 2, caso B

Usando una vez más teoría básica de probabilidades junto con la hipótesis H5 es fácil deducir una expresión simplificada para la probabilidad de fallo del sistema de soplado en cumplir la función asignada en caso de emergencia:

$$P_{2B} = 3T_F D + 2P_C \qquad (3)$$

Se hace notar que las expresiones 1, 2 y 3 únicamente serán válidas dentro de los siguientes límites (aproximadamente):

- Para valores de P_C inferiores a 0,05.
- Para valores de L_2/L_1 inferiores a 0,1.
- Para valores de $T_F \cdot D$ inferiores a 0,01.

2.4.- Estudio comparativo

En este punto se procede a comparar las probabilidades asociadas a cada uno de los diagramas de fallo presentados en el punto anterior, al objeto de poder efectuar una valoración aproximada del nivel exigible en el proceso de certificación mencionado en la hipótesis H7.

Haciendo uso de las expresiones 1, 2 y 3, así como de los valores numéricos indicados en la hipótesis H6, es fácil llegar al siguiente resultado:

$$\frac{P_{2A}}{P_1} = \frac{0{,}012+(0{,}018+2P_C)L_2/L_1}{0{,}006+L_2/L_1} \qquad (4)$$

$$\frac{P_{2B}}{P_1} = \frac{0{,}018+2P_C}{0{,}006+L_2/L_1} \qquad (5)$$

Igualando las dos expresiones anteriores a la unidad es posible obtener las relaciones entre P_C y L_2/L_1 que marcan el límite en el que las probabilidades de fallo asociadas a las opciones 2 (A) y 2 (B) se igualan a la probabilidad de fallo asociada a la opción 1 (Una representación gráfica de ambas relaciones límite puede verse en la figura 6).

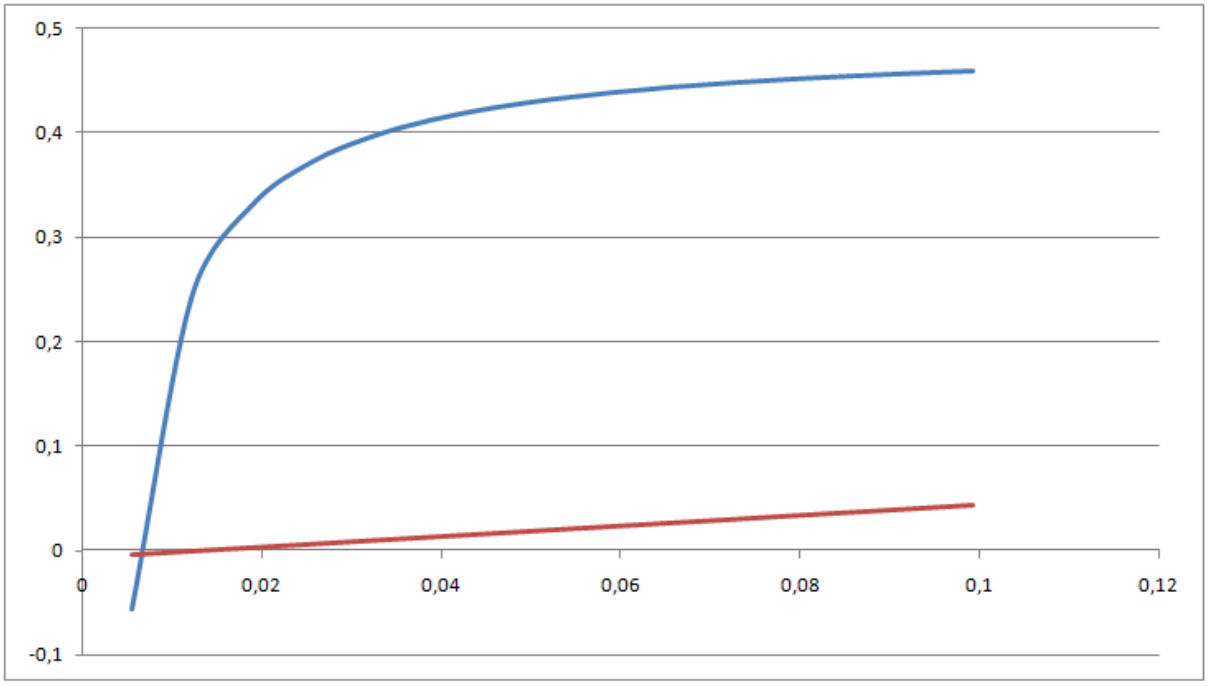


Fig. 6.- Relación existente entre L_2/L_1 (en abscisas) y P_C (en ordenadas) para que las probabilidades de fallo de las opciones 1 y 2 se igualen (Caso A en azul y caso B en rojo)

El análisis de la figura 6 permite alcanzar una serie de conclusiones muy interesantes. Para la opción 2 (A) es posible distinguir dos situaciones muy distintas dependiendo del valor que tome la relación existente entre la longitud de las conducciones fuera y dentro de cámara de máquinas (L_2/L_1):

- Por encima de 0,006 (aproximadamente), esta opción superará el nivel de seguridad de la opción 1 en cuanto se establezcan procesos de certificación para las válvulas de soplado de los lastres 1 y 4 con niveles de exigencia mínimos (Obsérvese que los valores de P_C son tremendamente pesimistas en este caso, manteniéndose muy por encima del valor máximo indicado al final del punto 2.3).

- Por debajo del valor arriba indicado (0,006) la situación se invierte, cayendo el nivel de seguridad de esta opción por debajo de la opción 1 independientemente del proceso de certificación que se establezca para las válvulas de soplado arriba citadas (Obsérvese que P_C no puede adoptar valores negativos).

En cuanto a la opción 2 (B) será posible distinguir tres situaciones distintas dependiendo del valor que tome la relación existente entre la longitud de las conducciones fuera y dentro de cámara de máquinas:

- Cuando dicha relación aumente, acercándose a 0,1 (valor máximo indicado al final del punto 2.3), esta opción igualará el nivel de seguridad de la opción 1 sin necesidad de establecer procesos de certificación demasiado exigentes sobre las válvulas de soplado de los lastres 1 y 4 (Obsérvese que en este caso P_C llega casi al valor máximo indicado al final del punto 2.3, lo que significa que puede esperarse un fallo por congelación en alguna de las citadas válvulas aproximadamente cada 10 veces que se haga uso de ellas en régimen continuo y, aun así, mantener la paridad con la opción 1).
- Cuando dicha relación disminuya (acercándose a 0,012) el valor de P_C tenderá linealmente a cero, lo que obligará a establecer procesos de certificación cada vez más exigentes en relación con las válvulas de soplado arriba citadas si se quiere que esta opción mantenga el mismo nivel de seguridad que la opción 1 (Obsérvese que no hay proceso de certificación capaz de reducir a cero la probabilidad de fallo de los elementos certificados, por muy exigente que sea).
- Cuando dicha relación caiga por debajo del valor arriba indicado (0,012), el nivel de seguridad de esta opción caerá igualmente por debajo de la opción 1 sea cual sea el proceso de certificación establecido, pues análogamente a lo que sucede con la opción 2 (A), el valor de una probabilidad de fallo nunca puede ser negativo.

Finalmente, cabe decir que la opción 2 (A) resultará más ventajosa que la 2 (B) prácticamente bajo cualquier circunstancia, dado que para alcanzar los mismos niveles de fiabilidad la primera necesitará de procesos de certificación mucho menos exigentes (o dicho de otro modo, podrá soportar muchos más fallos por congelación) que la segunda.

3.- Conclusiones y comentarios finales

Bajo las hipótesis presentadas en el punto 2.2 y dentro de los límites establecidos al final del punto 2.3:

- La opción 2 (A) presentará un nivel de seguridad superior a la opción 2 (B) prácticamente bajo cualquier circunstancia y superior a la opción 1 para casi cualquier proceso de certificación que se establezca en relación con las válvulas de soplado de los lastres 1 y 4 siempre que la relación existente entre la longitud de las conducciones fuera y dentro de cámara de máquinas supere ciertos mínimos.
- La opción 2 (B) presentará un comportamiento similar a la opción 2 (A) en relación con la opción 1, aunque en este caso los procesos de certificación que se establezcan deberán ser algo más exigentes.
- La opción 1 será superior a cualquiera de las otras cuando prácticamente no haya conducciones sometidas a presión de inmersión fuera de cámara de máquinas, con independencia de los procesos de certificación que puedan establecerse sobre las válvulas de soplado de los lastres 1 y 4.

De lo anterior se desprende que, a menos que todas las conducciones sometidas a presión de inmersión se concentren en la cámara de máquinas, la capacidad de hacer frente a vías de agua en cual-

quier punto de la eslora del casco resistente tiene un efecto positivo que compensa en gran medida la mayor complejidad requerida en el correspondiente sistema de soplado.

Por otro lado, y dada la enorme influencia que tienen en los resultados obtenidos, las hipótesis H3 (capacidad de la opción 1 para afrontar vías de agua en cámara de máquinas) y H4 (capacidad de la opción 2 para afrontar vías de agua en cualquier punto de la eslora del casco resistente) deberían ser verificadas exhaustivamente mediante la ejecución de simulaciones específicas en el caso de que alguna de las soluciones de diseño presentadas en este documento fuera llevada a la práctica.

Además, la hipótesis H4 resulta especialmente crítica, dado que presenta una fuerte interacción con la hipótesis H8: en efecto, la capacidad de afrontar vías de agua en cualquier punto de la eslora del casco resistente controlando el ángulo de inclinación longitudinal del submarino va a depender fuertemente de la habilidad de la dotación en el manejo de las válvulas de soplado de los lastres 1 y 4.

Finalmente cabe decir que, aún sin disponer de estadísticas precisas, el uso de diagramas de fallo puede considerarse como una herramienta bastante útil para comparar el nivel de riesgo asociado a diferentes alternativas de diseño cuando se combina con la experiencia disponible en relación con el sistema que se desea analizar.

4.- Referencias bibliográficas

[1] **Casas P.**, 2014, Metodología de generación de requisitos técnicos de seguridad para submarinos, Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada nº 7

[2]**Andrews J.**, 2012, Introduction to fault tree analysis, 2012 AR&MS Tutorial Notes

[3] **Warleta J.**, 1973, Fiabilidad. Bases teóricas y prácticas, INTA

[4]**US Navy**, 2011, Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment, Naval Surface Warfare Center

Introducción a la radiactividad. Leyes y tipos de desintegración radiactiva.

CC (CIA-EOF) Joaquín Ortega García
INTECDEF Nº 1. MADRID

1.- INTRODUCCION.

Aunque España es uno de los llamados países nucleares, ya que en estos momentos siete rectores nucleares producen cerca del 20% de la energía eléctrica consumida en nuestro país y existe también una fábrica de combustible nuclear en Juzbado (Salamanca), es cierto que la Armada española no es una Armada "nuclear", en el sentido de que no posee armamento nuclear ni utiliza esta fuente de energía como medio de propulsión en sus barcos.

Pero también es cierto que la Armada no es ajena al mundo nuclear. Varios de nuestros aliados en la OTAN poseen Armadas nucleares y son frecuentes sus visitas a distintos puertos de la geografía española, como Rota o Palma de Mallorca, por citar algún ejemplo. La mera presencia de estos navíos aliados de propulsión nuclear en nuestros puertos obliga al Estado Mayor de la Armada a activar a los Grupos Operativos de Vigilancia Radiológica Ambiental (GOVRA), que dedican sus esfuerzos a la toma de muestras de agua de mar, sedimentos, moluscos etc. durante la presencia de estos barcos, para su posterior envío a las instalaciones de la Unidad de Defensa Nuclear del Instituto Tecnológico de La Marañosa, donde se procede a su análisis radiológico y posterior informe tanto al Estado Mayor de la Armada como al Consejo de Seguridad Nuclear en caso de detectarse valores de emisión superiores a los esperados.

Y no debemos olvidar a Don Jose María Otero de Navascués, Contralmirante del Cuerpo de Ingenieros de la Armada, que puede considerarse como el padre de la energía nuclear en España ya que fue presidente de la Junta de Energía Nuclear desde 1958 hasta 1974, actual CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). Durante este periodo se creó el primer reactor español, el reactor de la Moncloa (1958) y en 1969 la primera central nuclear española, la José Cabrera de Zorita (Guadalajara).

Es por ello que considero de interés el repasar algunos conceptos básicos sobre Física Nuclear y Radiactividad. Y es por ello que me propongo, si la Dirección de este Boletín lo considera también interesante, publicar una serie de artículos que nos permita a los miembros del Cuerpo de Ingenieros de la Armada estar más cercanos a ese mundo nuclear que con tanta frecuencia nos invade en los medios de comunicación. Y quizás debamos empezar la casa por los cimientos repasando algunos conceptos básicos. Cuando un periodista preguntó una vez a Einstein como explicaría su Teoría de la Relatividad en pocas palabras y a un "no iniciado" como él, Einstein le contestó:

¿Sería usted capaz de explicarme como hacer una tortilla?,

a lo que el periodista contestó: *Sí, claro…*

Abert Einstein añadió*: Pues bien, comience usted, pero suponga que yo no sé ni lo que es un huevo, ni una sartén, ni el aceite, ni la energía….*

2.- RADIACTIVIDAD.

Se conoce con el nombre de radiactividad al proceso por el cual se produce la desintegración espontanea de un núcleo atómico, con emisión de partículas y radiaciones electromagnéticas.

El químico francés Becquerel descubrió en 1896, de forma puramente accidental, que las sales de uranio emitían radiaciones análogas a los rayos X, en el sentido de que eran muy penetrantes, impresionaban placas fotográficas y provocaban ionización en los gases sobre los que interactuaban.

Al descubrimiento de Becquerel le siguió el trabajo del matrimonio Curie, conducente a la identificación de dos nuevos elementos químicos, el polonio y el radio, apreciándose en ellos efectos radiactivos millares de veces más intensos que los observados en las sales de uranio.

En una experiencia clásica realizada por Rutherford se puso de manifiesto que las substancias radiactivas emitían tres clases distintas de radiación. A este fin, para obtener un haz colimado de radiación se dispuso cierta cantidad de substancia radiactiva en el fondo de un taladro cilíndrico practicado en un bloque de plomo. Frente a la salida del colimador se dispuso una placa fotográfica perpendicularmente. El conjunto estaba situado en una cámara estanca a la luz, en la que se hizo el vacío. Finalmente se estableció un campo magnético perpendicular al conjunto y tras un adecuado tiempo de exposición, se observó al revelar la placa tres zonas de impacto bien diferenciadas:

- Una situada en la prolongación del colimador, que por no haber sufrido deflexión se supuso debida a radiación electromagnética, llamadas fotones gamma.
- Otra situada a la derecha del colimador que, por el sentido de su deflexión, debía estar constituida por partículas negativas, llamadas desde entonces partículas beta.
- Y la última situada a la izquierda del colimador debía corresponder a partículas cargadas positivamente, que fueron llamadas partículas alfa.

En las propiedades del núcleo, existen unas fuerzas que mantienen la estabilidad de dicho núcleo. Pues bien, teniendo en cuenta estas fuerzas, se ve que para núcleos de número atómico pequeño, tanto las fuerzas atractivas como repulsivas son pequeñas y además prácticamente iguales, por lo que el núcleo es estable. Según aumentemos el número atómico, para que dichas fuerzas sean iguales se tiene que aumentar el número de neutrones para conseguir la estabilidad.

Sin embargo, hay un límite al exceso de neutrones sobre protones que un núcleo puede contener, manteniéndose estable. Como consecuencia de ese límite los elementos de numero atómico superior a 84 no poseen prácticamente isótopos estables; por este motivo los elementos con isótopos de numero atómico superior a 84 son los que presentan el fenómeno de la radiactividad, aunque exista alguna excepción de isótopos inestables con valor de Z inferior a 84, tales excepciones son: Talio (81), Plomo (82), y Bismuto (83).

Además de esta radiactividad natural, existe otro tipo de radiactividad que denominaremos radiactividad artificial la cual es producida por los denominados radioisótopos, los cuales se obtienen por bombardeo de elementos estables con partículas cargadas aceleradas artificialmente, por captura de neutrones o como consecuencia de una fisión nuclear.

Este tipo de "isótopos artificiales" se pueden conseguir de todos los elementos conocidos. Estos radioisótopos son aproximadamente unos 800.

3. - LEYES DE LA DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA.

Se pueden deducir las leyes que rigen el decremento de una substancia radiactiva sin conocer en detalle los mecanismos de interacción de los nucleones. Las suposiciones básicas son.

- La probabilidad de desintegración de un núcleo radiactivo por unidad de tiempo, λ, es igual para todos los átomos de la misma especie.
- La probabilidad de desintegración no depende del tiempo transcurrido, dependiendo en cambio del intervalo de tiempo de observación.

Si en un tiempo t = 0 existe un número N_0 de átomos radiactivos, y transcurrido un tiempo t, sobreviven únicamente N y se han desintegrado N', se trata ahora de calcular el número de átomos dN' que sufren desintegración en el intervalo de tiempo comprendido entre t y t+ dt. La probabilidad de desintegración en el intervalo dt será λ dt, por lo que el número de átomos desintegrado es:

$$dN' = N \lambda dt$$

Pero como en todo momento $N + N' = N_0$ y $dN = dN'$ y por tanto

$$dN = - N \lambda dt.$$

Separando variables:

$$dN/N = -\lambda dt.$$

Integrando y recordando que λ no depende de t

$$\text{Ln } N = -\lambda t + C.$$

La constante de integración se determina viendo que para t = 0, $N = N_0$, por lo cual $C = \ln N_0$.

$$\text{Ln } N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$N / N_0 = e^{-\lambda t}$$

y finalmente

$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (I)$$

Cada radionucleido queda caracterizado por el valor de λ, llamada constante de desintegración, cuyas dimensiones son la inversa del tiempo y que como se ha visto, representa la probabilidad de que un determinado núcleo se desintegre en la unidad de tiempo subsiguiente a un instante inicial de elección arbitrario.

La constante de desintegración es independiente de variables externas al núcleo, tales como temperatura, presión, campos eléctricos o magnéticos, etc. Además es invariable a lo largo del tiempo, lo que significa que es independiente de la "edad" del núcleo: esta afirmación equivale a decir que el núcleo radiactivo no envejece en el mismo sentido que un ser vivo, en el que la probabilidad de muerte aumenta con la edad.

4.- ACTIVIDAD.

Desde el punto de vista práctico la expresión del decremento radiactivo en la forma dada carece de utilidad, ya que no existe método práctico que permita la medida del número de átomos N y N_0 en una colectividad de radionucleidos.

Sin embargo, existe una magnitud, la actividad, definida como el número medio de desintegraciones en la unidad de tiempo, y que vale:

$$A = \lambda N.$$

Multiplicando la ecuación anterior por λ,

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

o bien

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

que demuestra que la actividad decrece siguiendo una ley exponencial.

La actividad de una muestra radiactiva puede medirse teniendo en cuenta que en la desintegración de un átomo radiactivo se emite una partícula α o β o fotones gamma. Si se dispone de un sistema de medida que permita la detección y recuento de tales partículas o fotones, el número de eventos por unidad de tiempo será A', donde

$$A' = c\ \lambda\ N$$

donde c es el llamado factor de rendimiento del detector.

La actividad de la sustancia se mide en Becquerel (1 desintegración por segundo) según el SI de medidas, aunque también es común el Curie (actividad de 1gr de Ra-226) que es una unidad en desuso. Pero más útil que conocer la velocidad de una desintegración nuclear en función de su constante de desintegración, es saber cuál es el periodo de semidesintegración del proceso, T, que se define como el intervalo de tiempo durante el cual el número inicial de átomos radiactivos de una muestra se reduce a la mitad.

$$N_0/2 = \ln 2/\lambda$$

En estas condiciones, llamando T al período, la expresión (I) toma la forma:

$$T = \ln 2/\lambda$$

Los valores de los periodos son característicos de cada radionucleido.

Otro parámetro de uso corriente es la vida media, τ, que es el inverso de la constante de desintegración:

$$\tau = 1 / \lambda$$

Como ya hemos mencionado este es un proceso de emisión, en la que se emiten una serie de partículas cargadas positivamente (partículas α), negativamente (β) y radiación electromagnética (ϒ). Nos centraremos más adelante en su descripción.

5.- TRANSFORMACIONES RADIACTIVAS EN CADENA.

Hasta el momento se ha supuesto que en la desintegración de un radionucleido el núcleo residual era estable, pero en cierto número de casos esto no es así, lo que da lugar a la formación de cadenas radiactivas a partir de un radionucleido inicial, en la que tras una serie de transmutaciones, se alcanza un núcleo estable que finaliza el proceso.

En el estudio de una cadena radiactiva tiene interés conocer el número de átomos radiactivos de cada "eslabón" en función del tiempo. Como ejemplo, se estudiará el comportamiento de una cadena formada por un radionucleido 1 que decae a otro 2 y éste al 3, que se supone estable. Si se llaman N_1, N_2 y N_3 al número de átomos de cada especie al cabo de un tiempo t y λ_1, λ_2 a las respectivas constantes radiactivas, las ecuaciones que describen el proceso para cada nucleido son:

Para el nucleido precursor (eslabón inicial):

$$dN_1 / dt = -\lambda_1 N_1 \qquad (I)$$

Para el nucleido 2, la tasa neta de desintegración será en todo momento la diferencia entre la acumulación procedente de la desintegración del radionucleido 1, $\lambda_1 N_1$, y la tasa de desintegración $\lambda_2 N_2$ del radionucleido 2:

$$dN_2 / dt = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \qquad (II)$$

Finalmente, el nucleido 3, supuestamente estable, sólo se acumula, por lo que:

$$dN_3 / dt = \lambda_2 N_2 \qquad (III)$$

Suponiendo, caso frecuente en la práctica, que en el instante inicial sólo existen N_1 átomos radiactivos del primer radionucleido de la cadena (por lo cual, para t = 0, $N_2 = N_3 = 0$) y $N_1 = N_1^0$, se demuestra que:

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda 1t}$$

$$N_2 = \lambda_1 / \lambda_2 - \lambda_1 N_1^0 (e^{-\lambda 1t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$N_3 = N_1^0 [1+(\lambda_1 /\lambda_2 - \lambda_1) e^{-\lambda_2 t} - (\lambda_2 /\lambda_2 - \lambda_1) e^{-\lambda_1 t}]$$

6.- EQUILIBRIO RADIACTIVO.

Se utiliza el término equilibrio para expresar las condiciones alcanzadas cuando la derivada respecto al tiempo de la magnitud estudiada es nula. Aplicándolo a los componentes de una cadena radiactiva de n + 1 miembros, las derivadas de las expresiones (I) y (II) del apartado anterior deberán ser nulas.

Estas condiciones no pueden satisfacerse rigurosamente si el primer miembro de la cadena es radiactivo, pues la primera de las ecuaciones exige que $\lambda_1 = 0$, contra lo supuesto. Sin embargo se puede alcanzar una aproximación físicamente razonable al equilibrio si el radionucleido que encabeza la cadena se desintegra mucho más lentamente que cualquiera de los restantes radionucleidos integrantes.

Se pueden distinguir dos variantes de equilibrio radiactivo:

1. Equilibrio secular.

   Si se supone que N_1 = cte y $\lambda_1 << \lambda_2$, se alcanza al cabo del tiempo la condición de equilibrio secular. En este caso las ecuaciones (I) (II) y (III) conducen a:

   $$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \ldots\ldots = \lambda_n N_n \qquad (IV)$$

   En el equilibrio secular todos los miembros de la cadena se desintegran con un semiperiodo igual al radionucleido inicial, y todos ellos tienen la misma actividad. Se define el periodo de semidesintegración como el intervalo de tiempo requerido para que el número inicial de átomos radiactivos de una muestra se reduzca a la mitad.

   La relación (IV) es aplicable siempre que un radionucleido precursor de periodo relativamente largo sea el origen de una cadena de diversos radionucleidos de periodo mucho más corto, siendo condición necesaria que la mezcla de radionucleidos no haya sufrido perturbación, es decir, no haya habido ninguna pérdida (por ejemplo, por emisión de un radionucleido gaseoso), en un tiempo suficientemente próximo para que no se haya podido establecer el equilibrio.

   Se alcanzan las condiciones de equilibrio secular en las cadenas radiactivas naturales del uranio, actinio y torio, en las que el precursor es un radionucleido de periodo muy largo. Igualmente se llega a establecer el equilibrio secular en los casos en que un radinucleido se genera según una tasa constante de producción. Tal ocurre con el C^{14}, radionucleido con un periodo de 5.600 años, presente en el anhídrido carbónico ambiental, que se produce en capas altas de la atmósfera por reacción nuclear, inducidas por protones muy energéticos de la radiación cósmica con núcleos de N^{14}. La síntesis constante del C^{14} por un lado y su desintegración por otro, han conducido a lo largo de los tiempos a una condición de equilibrio secular, en la que la concentración de C^{14} en el anhídrido carbónico atmosférico equivale a una actividad específica de unas 14

desintegraciones por segundo y gramo de carbono. Así, los vegetales que se nutren del anhídrido carbónico y los animales que se nutren de vegetales y de otros animales, alcanzan en sus tejidos, en intercambio metabólico constante, mientras vive, la misma concentración en equilibrio de C^{14}.

Cuando uno de estos seres se muere, al cesar su metabolismo, el contenido de C^{14} de sus tejidos se va desintegrando, de forma que si se mide la actividad específica de una muestra, se puede calcular aplicando la relación $A = A_0 e^{-\lambda t}$ el tiempo transcurrido desde su muerte. Tal sistema, muy empleado en Arqueología, permite datar muestras orgánicas de hasta unos 40.000 años de antigüedad.

2. Equilibrio transitorio.

Cuando el periodo del precursor es mayor pero no excesivamente más grande que el de su producto de desintegración, o sea $\lambda_1 < \lambda_2$ y transcurrido un tiempo t, tal que $e^{-\lambda_1 t} >> e^{-\lambda_2 t}$ se deduce en este caso que la relación de actividades queda:

$$A_1/A_2 = (\lambda_2 - \lambda_1)/\lambda_2$$

por lo que la actividad del padre es $(\lambda_2 - \lambda_1)/\lambda_2$ inferior a las del hijo.

El equilibrio transitorio constituye el fundamento de los generadores isotópicos, muy utilizados en Medicina Nuclear para producir ciertos radionucleidos de periodo corto, como por ejemplo el Tc^{99m}.

7.- TIPOS DE DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA.

DESINTEGRACIÓN ALFA.

En la experiencia clásica de Rutherford se ha demostrado experimentalmente la emisión de partículas cargadas positivamente, a las que se conoce con el nombre de partículas alfa. Cualitativamente se conoce su carga positiva por el sentido de la deflexión de trayectoria debido al campo magnético y su naturaleza corpuscular porque basta la interposición de una hoja de papel para detener completamente todas las partículas.

Se ha demostrado experimentalmente que las partículas alfa no son más que átomos de helio doblemente ionizado o la unión de dos protones y dos neutrones. Cuando un radionucleido produce una emisión alfa, se produce una transmutación, es decir el cambio de un elemento por otro. Si tenemos un elemento de número atómico Z y número de masa A, se convierte en otro de número atómico Z-2 y masa A-4.

La mayoría de los emisores de partículas alfa son núcleos pesados, correspondientes a los nucleidos que se encuentran al final de la Tabla Periódica. La mayor parte de los núcleos emisores alfa tienen A>200, aunque los hay a partir de A=150. Los núcleos ligeros tienen vidas medias grandes que hacen este tipo de desintegración inobservable.

Estas partículas pierden casi toda su energía en la producción de excitaciones e ionizaciones a lo largo de un corto recorrido, prácticamente rectilíneo, debido a su relativa gran masa con respecto a los electrones atómicos con los que interacciona fundamentalmente. La ionización producida que dependerá de la energía de la partícula, se expresa en forma de "ionización específica", definida como el número de pares de iones que se producen por milímetro de recorrido, y depende también del medio que atraviesa la partícula alfa. Debido a que es una partícula pesada y a su relativa baja velocidad, produce fuertes ionizaciones, que aumenta a medida que la partícula va reduciendo su velocidad y energía hasta alcanzar un máximo, cayendo a cero casi inmediatamente.

El poder de penetración de las partículas alfa en el organismo es muy escaso, quedando prácticamente en los estratos más superficiales de la piel. Sin embargo su peligrosidad aumenta considerablemente cuando la partícula alfa es ingerida o inhalada en el interior del organismo.

DESINTEGRACIÓN BETA.

El estudio de la componente más desviada en el experimento de Rutherford puso de manifiesto que tenía carga negativa por el sentido del movimiento respecto al campo magnético aplicado, y naturaleza corpuscular pues resultaba absorbida aunque menos que la alfa, mediante láminas metálicas finas. Análisis espectrométricos de las partículas beta pusieron de manifiesto que estas eran idénticas a los electrones negativos y que eran expelidas por el núcleo a velocidades muy próximas a la de la luz.

La desintegración beta, al igual que la alfa, es un proceso seguido por nucleidos inestables. Sin embargo, a diferencia de la alfa, en la beta sólo varía el número atómico Z, manteniéndose invariable el número másico A.

Bajo la denominación genérica de desintegración beta, se agrupan tres procesos que aunque presentan rasgos diferenciadores, presentan muchas semejanzas. Estos son:

Desintegración beta negativa.

Se produce cuando el núcleo convierte un neutrón en un protón, un electrón (e^-) y un antineutrino (v^-).Por tanto en una desintegración beta negativa, el núcleo resultante tiene un neutrón menos y un protón más que el núcleo del cual procede, quedando inalterado su número másico.

n ------- $p^+ + e^- + v^-$

El neutrino (v) y su antipartícula, el antineutrino (v^-) son partículas eléctricamente neutras, de masa en reposo nula y que se mueven a la velocidad de la luz.

Desintegración beta positiva.

Consiste en la emisión de positrones por ciertos radionucleidos. El positrón, antipartícula del electrón, tiene una masa igual a la del electrón pero su carga eléctrica es positiva, aunque con valor absoluto igual a la del electrón.

El proceso elemental que tiene lugar es la conversión de un protón en un neutrón, un positrón y un neutrino, según el esquema:

p--------n + e^+ + v

En consecuencia el núcleo descendiente tiene el mismo número másico que el precursor y el número atómico disminuye en una unidad.

Captura electrónica.

Los electrones de la corteza atómica en el curso de su movimiento se aproximan en ocasiones al núcleo, y según la Mecánica Ondulatoria, pueden incluso penetrar en su interior. Especialmente en átomos ricos en protones, estos electrones pueden ser capturados por el núcleo y entonces tiene lugar el proceso:

$P^+ + e^-$-------n + v

Donde el electrón capturado se asocia a un protón, formándose un neutrón y un neutrino. En estos casos, el núcleo descendiente tendrá el mismo número másico que el originario, pero su número atómico disminuye en una unidad, al igual que en la desintegración beta positiva.

RADIACIÓN GAMMA.

Es una radiación de naturaleza electromagnética, es decir, de idéntica naturaleza que la luz visible, ultravioleta, o los rayos X y por tanto no posee carga (refrendado por su falta de deflexión en el experimento de Rutherford) ni masa. Su poder de penetración es muy superior a las partículas alfa y beta.
Se producen cuando un núcleo en estado excitado se libera de energía para pasar a su estado fundamental, esta liberación de energía se realiza emitiendo fotones (radiaciones gamma).

La energía que se libera en el proceso corresponde a la diferencia entre los estados inicial y final.

El núcleo que emite un fotón no varía ni su número atómico Z, ni su número másico A; únicamente pasa a un estado energético más bajo.

BIBLIOGRAFÍA EMPLEADA

- The Physics of Radiology. H. E. Johns and J.R. Cunningham. Charles C. Thomas Publisher, USA (1983).

- The Atomic Nucleus. Robley D. Evans. Mc Graw-Hill Book Company (1955).

- Absorption of Ionizing Radiation. David W. Anderson, Ph. D. University Park Press (1984).

- Introduction to Nuclear Engineering. John R. Lamarsh. Addison-Wesley (1975).

Cálculo comparativo del equipo de amarre y fondeo de un remolcador

TN (CIA-ETO) Raúl Villa Caro
Inspector de Nuevas Construcciones del Arsenal de Ferrol
Ingeniero Naval y Oceánico / Capitán de la Marina Mercante

Las Sociedades de Clasificación (SSCC) incluyen en sus reglamentos, capítulos y normas dirigidas al cálculo del equipo de amarre y fondeo de los diferentes tipos de buques, por lo que este artículo versará sobre cómo afecta la aplicación de los diferentes reglamentos de las SSCC a la hora de dotar a un remolcador de sus sistemas de amarre y fondeo. Se realizará una comparativa entre las exigencias de las SSCC a buques civiles y a buques militares.

INTRODUCCION

El objetivo principal es analizar el estado del arte de la tecnología, comparando las normativas existentes de las diferentes SSCC, para investigar las analogías y diferencias que existirán en los equipos de amarre y fondeo dependiendo del reglamento de la SC propuesto, analizando si existen o no diferencias, dependiendo de la SC elegida.

SISTEMA DE FONDEO

A continuación se va a proceder a explicar cómo se determina el equipo de fondeo para cada buque. En primer lugar se determina el tipo de buque de que se trata, estableciendo una mención al servicio al que va a ser destinado, diferenciando así entre buques de carga, petroleros, portacontenedores, pesqueros, gaseros, quimiqueros o remolcadores, entre otros.

En segundo lugar se le asigna una mención al tipo de navegación para el que va a ser utilizado, y tras haberle asignado a nuestro buque el tipo de navegación, tenemos que obtener el "Equipment Number" o "Número de Equipo" por medio de la siguiente fórmula:

$$NE = \Delta^{2/3} + 2 \cdot B \cdot H + \frac{A}{10}$$

- NE: Número de equipo
- Δ: Desplazamiento de trazado para la flotación de verano, expresado en toneladas.
- B: Manga de trazado expresada en metros.
- H: Francobordo en la cuaderna maestra desde la cubierta superior hasta la flotación de verano, más la suma de las alturas, en la cuaderna maestra, de cada hilera de casetas con una manga superior a B/4, expresado en metros.
- A: Área del plano de crujía, dentro de la eslora reglamentaria del buque, y de la superestructura y casetas que se hallen por encima de la flotación de verano, y que además su manga sea mayor de B/4, expresada en metros cuadrados.

No obstante, las propias SSCC hacen una serie de consideraciones sobre el "numeral" y el equipo requerido, así por ejemplo para ciertos tipos de buques, con ciertos tipos de servicios, les reduce el valor del número de equipo para algunos componentes del equipo de fondeo, llegando incluso en algunos casos a eximirle de dotar al buque de alguno de dichos elementos. En el caso de los remolcadores, y según la SC Lloyd´s, se establece una fórmula específica para el cálculo del número de equipo, que es la siguiente:

$$\mathrm{N.E.} = \Delta^{2/3} + 2(\mathrm{Bf} + \sum \mathrm{bh}) + 0.1\mathrm{A}$$

- f: Francobordo en la maestra desde la flotación de verano
- Δ: Desplazamiento de trazado en la flotación de verano
- B: Manga de trazado máxima
- H: Altura de cada hilada de superestructura o caseta, en el costado, que tenga una manga de B/4 o mayor (no se tendrá en cuenta el arrufo ni el trimado) (m)
- B: Manga de la superestructura o caseta más ancha de cada hilada (m)
- A: Área en el plano de crujía dentro de la eslora reglamentaria del buque y de las superestructuras o casetas por encima de la flotación de verano que se encuentren dentro de la eslora reglamentaria del buque, y que además tengan una manga mayor de B/4

Habiendo obtenido el tipo de buque, el tipo de servicio y su "número de equipo", el proceso termina con la determinación del equipo requerido entrando con el "número" en las tablas, obteniéndose:

- Equipo de anclas de leva sin cepo (peso y número).
- Cadena de eslabones con contrete para la anclas de leva (longitud y diámetro según el tipo de acero empleado).
- Masa del ancla de espía y su cable o cadena (longitud y carga de rotura).

En general todas las SSCC siguen procesos similares, con lógicas variaciones en la manera de determinación del equipo de fondeo.

Algunos utilizan la fórmula general a la que aplican algunas reducciones en función del tipo de buque y servicio que está destinado a prestar, mientras que otras, entre ellas el Lloyd´s Register, emplean distintas fórmulas también en función del tipo de buque y servicio que está destinado a prestar, pero todas tienen en común el acompañar sus reglamentos de unas tablas de equipo requerido, que resultan ser casi idénticas para todas ellas.

Ello es debido a que la International Association of Classification Societies (IACS), que es como un fórum que aglutina a todas las sociedades clasificadoras del mundo, ha servido para unificar criterios y eliminar el aislamiento en que trabajaban las distintas sociedades, creando el citado fórum. Como ejemplo de sus logros basta citar el acuerdo de que el peso del ancla o anclas de leva fuera el triple del "numeral" correspondiente a dicho buque, expresado en kilos.

SISTEMA DE AMARRE

La normativa internacional sobre el amarre de buques es muy escasa y poco exigente. No da la sensación de que los organismos competentes en lo que se refiere a la construcción, armamento y explotación del buque hayan dado una gran importancia a esta fase de la vida del buque. El resultado de ello es la obtención de un buque orientado para la navegación en alta mar y, normalmente, preparado para el fondeo, pero muchas veces, poco apropiado para la estancia en puerto.

Hasta el momento, los Reglamentos de las SSCC se limitan a dar recomendaciones no obligatorias sobre el equipo de amarre, que además suelen ser orientaciones insuficientes.

SISTEMAS DE AMARRE Y FONDEO EN BUQUES DE GUERRA

A pesar de que los buques de guerra están exentos de tener que cumplir los reglamentos de las Sociedades de Clasificación, en los últimos años, bajo la tutela del "Naval Ship Code", las SSCC han creado reglamentos específicos para buques de Guerra, que se reconocen rápidamente porque incorporan el apellido "Naval Rules" junto a su nombre.

RESULTADOS APLICADOS A UN REMOLCADOR:

SISTEMA DE FONDEO

Una vez detallada la forma de calcular el número de equipo de acuerdo con la normativa del Lloyd´s (LRS), se va a realizar una comparativa del cálculo, comparando los reglamentos de las principales sociedades de clasificación. Se van a estudiar cinco sociedades (ABS, BV, DNV, GL, y LRS).

De todas ellas, sólo Bureau Veritas (BV) utiliza una fórmula diferente para el cálculo del número de equipo. Utiliza una fórmula simplificada que sólo tiene en cuenta las dimensiones principales del buque. La fórmula responde a:

$$NE = K(LBD)^{2/3}$$

Se toma un coeficiente K=1.3, para remolcadores sin restricción (y K=2.2 para el resto).

Obteniendo datos de las tablas de número de equipo de las cinco sociedades se va a realizar una comparativa suponiendo un remolcador tipo de 24 metros de eslora:

Tabla 1

	ABS	**BV**	**DNV**	**GL**	**LRS**
Número de equipo	145	134	145	145	145
Ancla de leva sin cepo: • **Número** • **Peso por ancla (kg)**	 2 390	 2 400	 2 420	 2 420	 2 420
Cadena de ancla de leva con contrete (m): • **Longitud**	 275	 192.5	 275	 275	 275
Diámetro cadena (mm): • **Acero normal** • **Acero resistente**	 20.5 17.5	 20.5 17.5	 20.5 17.5	 20.5 17.5	 20.5 17.5

Se adjunta como ejemplo la tabla del Lloyd´s:

Tabla 2

13.7.2 Equipment – Bower anchors and chain cables

Equipment number		Equipment Letter	Stockless bower anchors		Stud link chain cables for bower anchors			
						Diameter, in mm		
Exceeding	Not exceeding		Number	Mass of anchor, in kg	Total length, in metres	Mild steel (Grade 1 or U1)	Special quality steel (Grade U2)	Extra special quality steel (Grade U3)
50	70	A	2	180	220	14	12,5	—
70	90	B	2	240	220	16	14	—
90	110	C	2	300	247,5	17,5	16	—
110	130	D	2	360	247,5	19	17,5	—
130	150	E	2	420	275	20,5	17,5	—
150	175	F	2	480	275	22	19	—

Los requerimientos para el número de anclas y diámetros de cadena son iguales para todas las SC, sin embargo existe una pequeña diferencia en el peso del ancla y la longitud de cadena. Bureau Veritas es la SC menos estricta en sus requerimientos, exigiendo un ancla de menor peso, y menos longitud de cadena, respecto a las otras SSCC.

SISTEMAS DE AMARRE:

Partiendo del cálculo del EN del apartado anterior, se va a realizar, de forma análoga a como se ha hecho con el fondeo, una comparativa de las SC para el cálculo del equipo de amarre del remolcador.

Tabla 3

	ABS	**BV**	**DNV**	**GL**	**LRS**
Número de equipo	145	134	145	145	145
Estacha de remolque:					
• **Longitud Mínima (m)**	180	-	180	180	180
• **Resistencia mínima a la rotura (kN)**	98	-	98	100	98
Estachas de amarre:					
• **Número**	3	2	3	3	3
• **Longitud Mínima (m)**	120	71.5	120	120	120
• **Resistencia mínima a la rotura (kN)**	54	110	49	50	49

De nuevo, como en fondeo, resultados similares a excepción de BV.

SISTEMAS DE AMARRE Y FONDEO EN BUQUES DE GUERRA

Si analizamos un buque tipo patrullero o buque de acción marítima, más cercano en eslora a nuestro remolcador, y bajo un reglamento de clasificación naval, nos encontraremos ante un buque que va a incorporar igualmente un sistema de amarre que conste de dos áreas. En este caso analizaremos el sistema de amarre y remolque correspondiente, calculado según la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas.

Para el cálculo de los elementos correspondientes al sistema de amarre, se comienza por estudiar la carga mínima de rotura que establece la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas para buques de guerra, la cual ha de ser la siguiente:

$$BL = \frac{F_S}{n}$$

Siendo "Fs" la fuerza transversal debida al viento, y "n" el número de estachas de amarre de través. La fuerza debida al viento en la dirección transversal viene dada por la fórmula. Considerando una fuerza estática transversal debida al viento aproximada de 650 kN, y de acuerdo con la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas se determina el número de estachas de amarre con las que el buque tendrá que contar, que son en total ocho.

CONCLUSIONES

Cuando se analiza el equipo de fondeo aplicado a las cinco SC, para remolcador no restringido, los resultados son prácticamente iguales (con la excepción de BV), como se observa en las tablas.

En el caso del equipo de amarre, de nuevo, nos encontramos con resultados similares, a excepción de BV, que es menos restrictiva.

Al hacer la comparativa en buques de guerra, de porte similar a un remolcador comprobamos como la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas es más demandante en lo referente a número de estachas y a carga mínima de rotura. Por esta razón, sería mejor considerar para la elección de las estachas de amarre, las características más demandantes de cada una de las Sociedades de Clasificación.

Detección y seguimiento automáticos de contactos visuales mediante componentes comerciales de bajo coste

TN (CIA-EOF) Juan Manuel de Santiago Collada
MINISDEF-DGAM-GESPRO-BAM EXT 1º

El vigente Objetivo de Capacidades Militares (OCM) se apoya en el documento denominado Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) (Subdirección General de Tecnología y Centros, 2010), el cual consiste en los 4 ejes siguientes: de Información, Cooperación, Mejora Continua y Tecnológico. Será precisamente este último sobre el que concentremos esfuerzos, y más específicamente sobre uno de sus objetivos a alcanzar dentro de las 6 Áreas de Actuación Funcional (AAF) establecidas: el ISTAR (Inteligencia, Vigilancia, Adquisición de Objetivos y Reconocimiento). De entre las Metas Tecnológicas (MT) relacionadas con la Adquisición de Datos de Sensores se encuentran:

- MT 2.1.5: «Extender la utilización de sensores EO (UV/VIS/IR) asequibles (IR no refrigerados, COTS "militarizados" etc.) en aplicaciones de seguridad y defensa que permitan operaciones día/noche en cualquier tipo de escenario y ambiente»

Del mismo modo, y relacionadas con el Proceso y Explotación de Datos, Análisis de la Información y Producción de Inteligencia, se podrían citar las siguientes MT:

- MT 2.2.2: «Aumentar las capacidades automáticas de detección, localización, reconocimiento y/o identificación»
- MT 2.2.3: «Desarrollar y mejorar las herramientas avanzadas de análisis de información para la obtención de inteligencia a partir de los datos procedentes de los sensores» , y
- MT 2.2.5: «Aumentar la capacidad de procesado de información de los sistemas actuales, avanzando en nuevas arquitecturas e introduciendo componentes HW más potentes y capaces»

Dependiendo de la literatura disponible y el ámbito de aplicación, se produce en ocasiones confusión o entremezcla de los conceptos de detección, reconocimiento e identificación de objetos, mediante técnicas de visión artificial (en ocasiones por visión por computador, Computer Vision o CV). La intención en este artículo es la de presentar una opción viable que permita afrontar con éxito y de una forma razonablemente fiable el problema de la detección/reconocimiento automático de contactos visuales de superficie, así como su posterior seguimiento, como medio para favorecer las diversas actividades ISTAR concurrentes en entornos navales.

La coincidencia actual de abaratamiento y aumento de la potencialidad de los componentes comerciales, así como la proliferación de código abierto y/o libre facilitan enormemente la consecución de los objetivos arriba indicados, haciendo factible su empleo donde antes no habría sido posible, en especial en plataformas no tripuladas y protección de plataformas e instalaciones.

La idea de la detección/reconocimiento planteada en este artículo se orienta hacia la extracción de aquellas características visuales que de una imagen permitan apreciar la presencia de un objeto de interés: una plataforma naval en primera instancia. Además, para que los resultados sean útiles, el ratio de falsos positivos habrá de ser muy bajo. Enseguida nos enfrentamos a la dificultad de que aunque la idea sea relativamente sencilla de solucionar cognitivamente, trasladado a la visión por computadora no va a resultarlo tanto. Una primera aproximación consiste en localizar ciertas características del objeto a reconocer como son su color o forma, a través de la detección de bordes y esquinas, valiéndose de algún conveniente tratamiento de la imagen como el filtrado o transformaciones geométricas que presentaremos más adelante, y a partir de ahí efectuar su seguimiento. La gran dificultad estriba en que en una misma imagen pueden aparecer varios objetos que varíen en posición y consecuentemente en color, aspecto, luminosidad y tamaño; más aún si la plataforma origen de referencia es móvil. Se entenderá, por ejemplo, que sea difícilmente discernible una boya frente a un contacto de superficie de interés. Por este motivo, para obtener un sistema

practicable nos veremos forzados a inicialmente reconocer en las imágenes los objetos de interés y posteriormente realizar su seguimiento, descartando los que no lo sean.

El problema en otros campos no navales está siendo abordado con creciente éxito. El presente artículo pretende adaptar los conceptos empleados en el reconocimiento de rostros, vehículos, peatones, semáforos, etc., al entorno naval operativo suponiendo el caso más desfavorable de su montaje en una plataforma de tamaño y disponibilidad energética reducidos. Se explorarán aquellos métodos que permitan la distinción de objetos, para después proporcionar su seguimiento, y presentando entonces para cuáles los resultados obtenidos son mejores.

MEDIOS HARDWARE ECONÓMICOS Y SOFTWARE LIBRE DISPONIBLES

Son implementables los anteriores algoritmos y otros muchos relacionados con la visión por computador, apoyándose en librerías comerciales como las de MATLAB Image Processing Toolbox o las de Intel Integrated Performance Primitives (IPP). Fuera de las comerciales, digamos que pese a la existencia de VXL o LTI-lib 2, es sin duda OpenCV la más extendida. Entre las explicaciones más plausibles se podrían encontrar el hecho de que se trate de un software que provee de una infraestructura bajo licencia permisiva BSD (Portal de Software Libre, 2015), además de que permita interfaces con C++, C, Java, MATLAB y Python, en entornos Windows, Android, Mac OS y Linux. A efectos de alcanzar los fines propuestos seleccionaremos el ordenador monoplaca pcDuino 3 (Figura 1), debido principalmente a la ventaja del gran balance entre su bajo coste en relación a su elevado rendimiento, defendida en el BTIA núm. 8 (de Santiago Collada, RTL-SDR: La Guerra Electrónica al Alcance de Todos los Bolsillos, 2015)

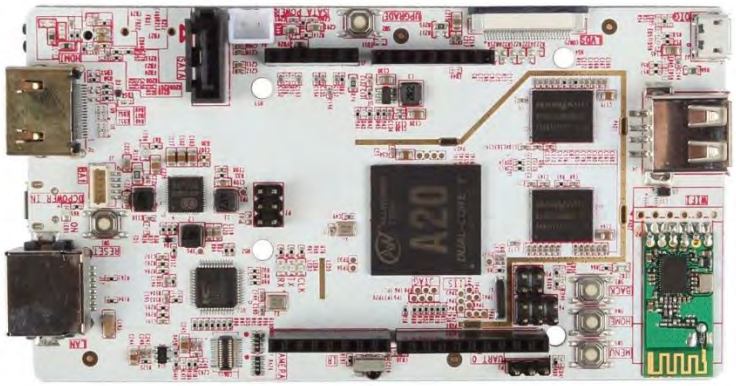


Figura 1 pcDuino 3.

En lo referente a OpenCV, es el interfaz Python sobre Linux la aparentemente mejor opción, atendiendo su sintaxis similar a Matlab (cuando se le integra las bibliotecas Numpy, Scipy y Matplotlib), rapidez y facilidad de prototipado frente a otros lenguajes de más bajo nivel, abundancia de código libre «reutilizable» (Figura 1), y portabilidad entre plataformas. Todo lo anterior disfrutando de absoluta gratuidad. Sin embargo, presenta al menos dos inconvenientes muy a tener en cuenta:

- Por ser un lenguaje interpretado (al igual que MATLAB), es relativamente lento frente a los lenguajes compilados (C++, Fortran, etc.). Surge la posibilidad que este aspecto se convierta en crítico, lo cual podría obligar a optimizar el código o a disminuir las especificaciones perseguidas.
- Resulta dificultoso implementar aplicaciones gráficas (ventanas, menús, etc.).

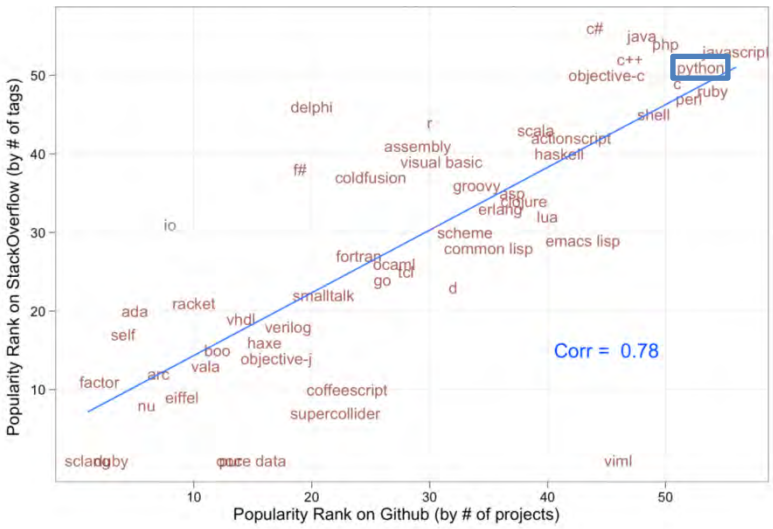


Figura 2. Popularidad de lenguajes de programación por número de cuestiones planteadas en StackOverflow contra en número de proyectos en Github (Revolutions, 2010)

La indisponibilidad y el coste inasumible de un entorno real, traducido en la disposición de una plataforma operativa alistada más unidades colaboradoras, pueden ser suplidas, al menos en una fase de diseño, mediante simulación. La alternativa al uso de la cámara IR que fuera a ser destinada a la captación de imágenes para posterior detección de los contactos visuales es Vehicle Simulator. Se trata de una aplicación que reproduce vehículos (incluidas plataformas navales) integrados en escenarios en toda condición imaginable, de modo sorprendentemente realista. El grupo de entusiastas que altruistamente ponen a disposición de la comunidad sus valiosas aportaciones, es cada vez más nutrido (Figura 3).

Figura 3 Captura de imagen de un escenario simulado con Vehicle Simulator

Si únicamente se conoce el ángulo formado por la proa de la plataforma y el contacto (marcación) nos encontraremos ante el caso más primitivo para abordar el problema de alcance (un torpedo, p. ej.) en una trayectoria de «carrera de perro», es decir, que la proa esté siempre apuntando al contacto. La Figura 4 representa dicho modelo en bucle cerrado.

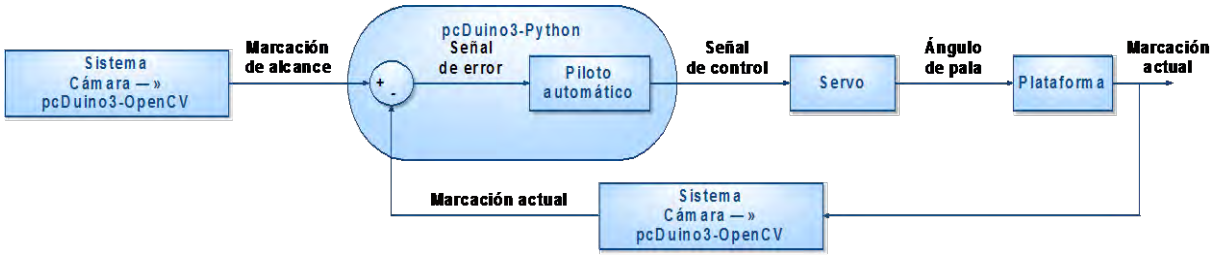


Figura 4 Sistema clásico de control de rumbo para una plataforma de superficie

Debido a los beneficios de economía, reproducibilidad y cancelación de riesgo de daños materiales, tanto en la plataforma en pruebas como de la infraestructura circunscrita, es cada vez más usual que previo a la construcción física del sistema (automóvil, aeronave, etc.), sea caracterizado mediante su modelización equivalente software. Dicha técnica se denomina Software-In-The-Loop (SITL).

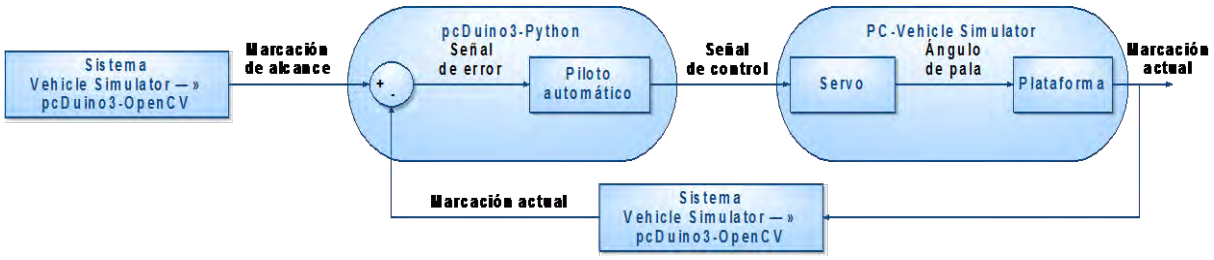


Figura 5 Sistema clásico de control de rumbo para una plataforma de superficie auxiliado con la técnica SITL

La Figura 5 difiere de la Figura 4 en la sustitución de todos los elementos físicos por otros simulados por software. El nexo entre ambos ordenadores sería la «señal de control», y esta se puede implementar mediante una placa de desarrollo USB Teensy, capaz de emular un teclado que, conectado al PC modificaría el ángulo de pala y velocidad de la plataforma simulada en Vehicle Simulator siguiendo las órdenes provenientes del pcDuino3 (piloto automático). El entorno de simulación en PC elegido está basado en la distribución Xubuntu de Linux y Vehicle Simulator sobre Wine (Wine Is Not an Emulator, una reimplementación de la interfaz de programación Windows). A expensas de renunciar a la información relativa al rendimiento del conjunto del sistema, este se simplifica cuando corren todos los procesos en un mismo PC. Así, la placa de desarrollo USB citada quedaría sustituida por su equivalente «tubería» software de video, disponible en Linux.

Para la identificación de los modelos que se trasladen a Vehicle Simulator a través de los parámetros de su función de transferencia, se plantea emplear el método presentado en el BTIA núm. 7 (de Santiago Collada, Pilotos Automáticos para Buques de Superficie: el Modelo de Nomoto, 2014).

DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE OBJETOS

Como ya se había mencionado, el primer condicionante que nos encontraremos es que el aspecto de un mismo objeto en un marco fijo estará sujeto a variaciones temporales de posición, aspecto, iluminación o tamaño. Aquello dificultará su detección pero no así su seguimiento, puesto que serán precisamente los desplazamientos y cambios de iluminación (entre imágenes consecutivas) los que lo proporcionen la labor. Para ello se asume el aspecto del objeto prácticamente constante. Una aproximación habitual para la detección de objetos es la búsqueda en la imagen de las llamadas «características»: esquinas, bordes, mar-

cas, etc., en la expectativa de que sean suficientemente repetibles entre fotogramas. Entre las más frecuentes se encuentran: FAST, SIFT, SURF, las esquinas Harris o las «good features» de Tomasi (Dawson-Howe, 2014). De esta manera se logra que en el seguimiento no sea la totalidad de la imagen, sino las características encontradas esta, las tenidas en cuenta. Los métodos y correspondientes algoritmos principalmente manejados para el seguimiento de objetos son los basados en:

1. **Detección de movimiento:** Se trata de buscar los cambios de niveles pixel a pixel entre imágenes consecutivas para a continuación determinar el grado de correlación entre ellas.

En sus variantes, son métodos que en aplicaciones de seguridad en tierra (estáticos) pueden llegar a ser apropiados. Desafortunadamente, llevado a plataformas móviles (incluso estabilizadas) aún más con presencia de movimiento de oleaje, resulta inoperante para nuestros propósitos. En la Figura 6queda patente lo dicho. Para el caso más favorable, plasmado en las 3 primeras filas (en donde la cámara se encuentra en plataforma fija), se visualiza el efecto de la supresión del fondo, pero no así la de la superficie de la mar. Trasladado a una plataforma móvil, la consecuencia podría asemejarse a la vista en la cuarta fila, en la que resulta apenas discernible la presencia de objeto destacado alguno. De lo dicho se colige que se trata de una técnica por fuerza bruta, dudosamente apta para alcanzar el éxito en nuestros fines.

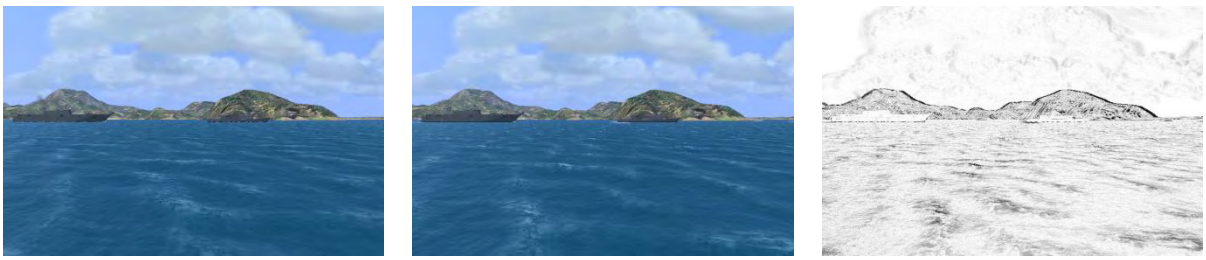


Figura 6 Efecto de la sustracción de imágenes consecutivas en varias escenas

2. **Detección de colores específicos**: Se filtra el color deseado y se acompaña de un proceso posterior de dilatación de las agrupaciones de los pixeles detectados, transformándose entonces en el caso general.

En la Figura 7 se presenta el ejemplo se simulación de la recalada nocturna en un puerto. Para este caso la aplicación está preparada para detectar la banda del rojo, pero podría incluirse la detección simultánea del verde. Es pues practicable implementar primeramente un asistente a la maniobra basado en un piloto automático clásico, considerando como consigna el mantenimiento del rumbo al centro del segmento formado por ambas luces.

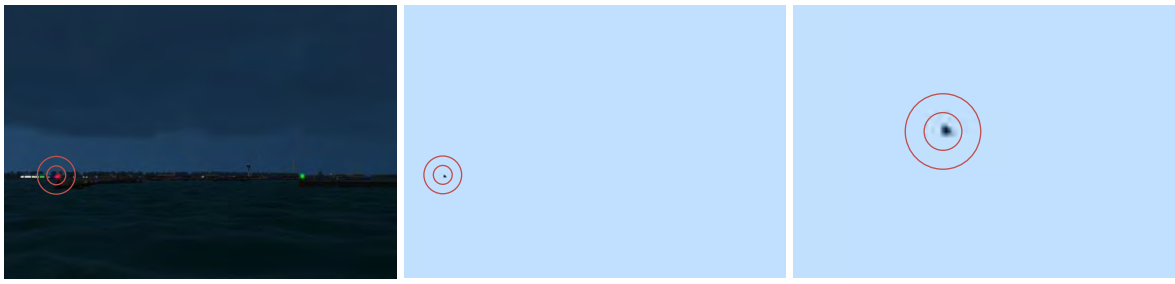


Figura 7 Detección automática de la «roja» de «entre puntas» mediante visión por computadora

3. **Flujo óptico entre imágenes consecutivas:** Comprende la totalidad de la imagen, lo cual resulta muy costoso desde el punto de vista computacional (Figura 8-Izq.).

4. **Flujo óptico entre características consecutivas:** Resulta más eficiente que el anterior. Únicamente se repara en las características extraída. Es típico el algoritmo Lucas-Kanade usando características Tomasi (Figura 8-Ctro. y Dcha.)

Figura 8 Diferentes efectos de la extracción del flujo óptico

5. **Mean Shift:** Un área constante de la imagen (objeto) caracterizada por un grupo de puntos se desplaza iterativamente estableciendo su nuevo centro donde se encuentre el centroide del conjunto de puntos, hasta encontrar la convergencia.

La variante Camshift consiste en añadir al proceso la mejora de que una vez alcanzada la convergencia, el tamaño de la ventana de búsqueda se reajusta.

Como es de intuir, la elección del color gris para la intemperie de los buques de guerra no es caprichosa sino que responde a los esfuerzos en aumentar su furtividad, de manera que por su confusión con la mar, sea detectado visualmente lo más demoradamente posible. Cuando es el color del buque el atributo elegido para su seguimiento, (y aun siendo de distinto color que el de la superficie), desconviene que sea el algoritmo Camshift el elegido para seguimiento de estos contactos. La escasez de contraste con la mar conduce indefectiblemente a que tras varias iteraciones se llegue a una situación de divergencia que la vuelve inaplicable para nuestros propósitos. Se comprueba lo dicho en la Figura 9. Por las razones contrarias, sí que se constituye como buen candidato para el seguimiento de contactos aéreos

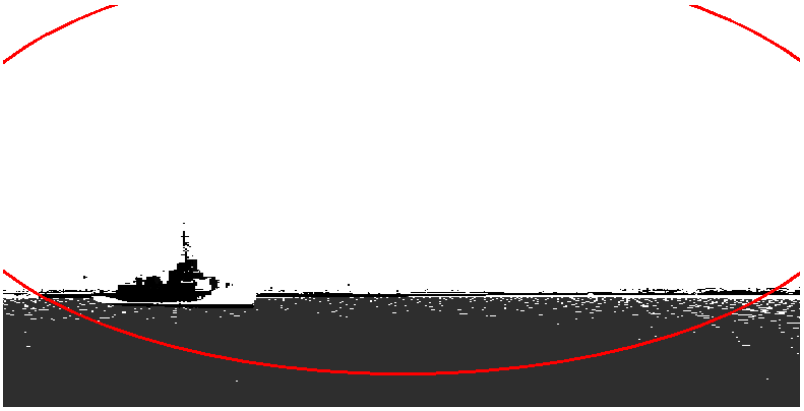


Figura 9 Fallo de seguimiento de un objeto de interés tras varios fotogramas mediante el algoritmo Camshift

6. **Búsqueda exhaustiva:** se selecciona una región generalmente rectangular correspondiente al objeto de interés inserto en la imagen, y en la siguiente se evalúa la similitud en su posición estimada (coincidencia de plantillas-template matching)

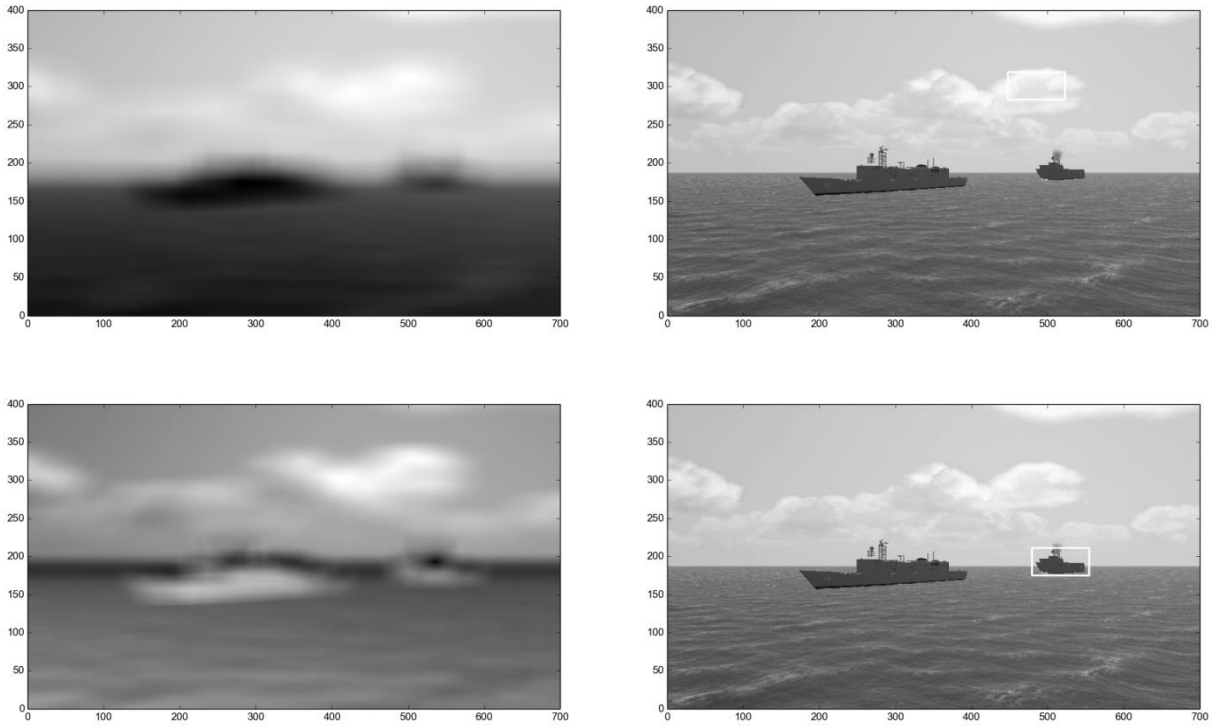
La medición de dichas similitudes se ataca con distintas técnicas de filtrado. Las más intuitivas son la Suma de Diferencias Absolutas (SAD), o la Suma de los Cuadrados de Diferencias (SSD), en la cual se evalúa para cada pixel entre dos regiones temporalmente consecutivas I_1 e I_2 (la original y la siguiente estimada, respectivamente) su diferencia, o el cuadrado de la diferencia entre niveles de grises (para evitar el signo negativo). Para contrarrestar los cambios de iluminación se introduce en las ecuaciones respectivas la normalización respecto a la media de niveles en la imagen ($\bar{I}$). Para el caso más favorable, cuando $s = 0$ en la ecuación (1), indicará que corresponde a dos imágenes idénticas. Este hecho podrá permitirnos la predicción de la posición del centroide del objeto en seguimiento, siendo conveniente para mejorar la precisión, la aplicación del filtro Kalman o alguno similar (Naidu & Raol). En otro caso, y a expensas de la pérdida de eficiencia y mayor coste computacional, es valorable emplear la «fuerza bruta», siendo la totalidad de la imagen la que sea sometida a la máscara (plantilla), asumiendo que sea el valor mínimo computado el que determine la deseada correspondencia.

$$s_{ZSAD} = \sum\left[\left(I_1 - \bar{I}_1\right) - \left(I_2 - \bar{I}_2\right)\right]$$
$$s_{ZSSD} = \sum\left[\left(I_1 - \bar{I}_1\right) - \left(I_2 - \bar{I}_2\right)\right]^2 \qquad (1)$$

Existen otras técnicas de filtrado más complejas (que inciden en el coste computacional) como la Correlación Cruzada Normalizada (NCC) y su variante (ZNCC). Así, los valores obtenidos en la ecuación (2) se encontrarán en el intervalo $\left[-1,1\right]$, con $s = 1$ para identidad de regiones. Se considera que un valor $s > 0.8$ representa un buen nivel de confianza.

$$s_{ZNCC} = \frac{\sum\left[\left(I_1 - \bar{I}_1\right)\left(I_2 - \bar{I}_2\right)\right]}{\sqrt{\sum\left(I_1 - \bar{I}_1\right)^2 \sum\left(I_2 - \bar{I}_2\right)^2}} \qquad (2)$$

Las principales limitaciones a tener en cuenta en el filtro NCC es la indeterminación existente si $I_1 = \bar{I}_1$ o $I_2 = \bar{I}_2$, o si el valor de ambas señales varía constantemente, el índice de correlación permanece igualmente constante, por lo que la quedará mermada la sensibilidad por cambios en la iluminación. Es corriente que antes de aplicar los filtros expuestos, las imágenes sean preprocesadas, mediante un filtrado conveniente (detección de bordes por lo corriente) con miras a que destaquen aquellos objetos que resulten de interés. Un vistazo a la Figura 10 deja patente que los resultados obtenidos para el más sencillo filtro de los mostrados (SAD) no son tan buenos como los esperados. Tanto el filtro SSD como el NCC logran corresponder en la imagen original el contacto de interés a partir de su plantilla.



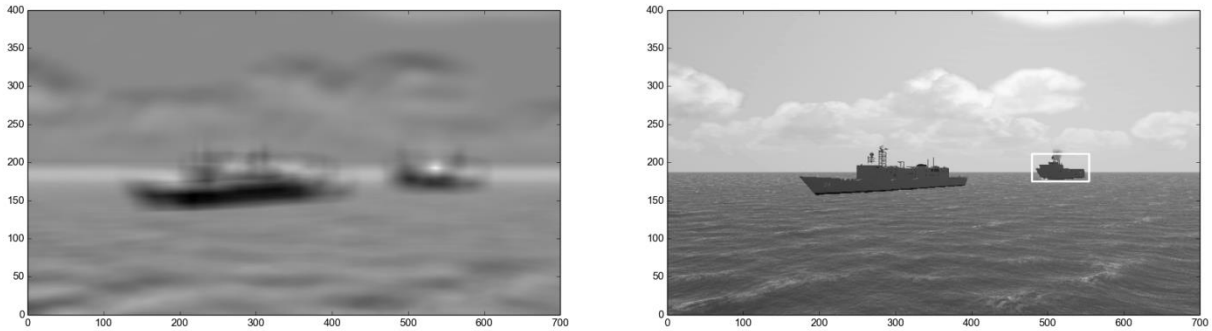


Figura 10 Detección de un contacto de interés mediante filtrado de su plantilla SAD, SSD y NCC (de arriba abajo)

Los filtros presentados tienden a fallar por su inherente exigencia en el consumo de recursos, escasa adaptación a rotaciones, oclusiones u otras distracciones. Por lo anterior, para lograr un seguimiento visual fiable, es muy conveniente ahondar en la búsqueda de filtrados más robustos, que con menor coste computacional, se adapten dinámicamente a los cambios en la apariencia de los contactos visuales objeto del seguimiento.

SEGUIMIENTO DE OBJETOS MEDIANTE FILTROS MOSSE

Del examen de la Figura 10, la mera intuición conduce a suponer que en la imagen filtrada, no resulta sencilla la localización del máximo o mínimo absoluto circundado de multitud de locales, que indicarían la coincidencia con la plantilla (detección). El ordenador palía con su velocidad esta limitación, sin embargo el consumo de sus recursos puede llegar a ser inasumible. Un siguiente paso consiste en diseñar un filtro adaptativo capaz de rechazar todo aquello que en la imagen sea superfluo, para aliviarle en la tarea al ordenador, liberando potencia de cálculo en favor de otros cometidos.

El enfoque (Bolme, 2011) consiste en filtrar de las imágenes, no desde el espacio estándar definido por coordenadas espaciales dotadas de un valor en la escala de grises, sino desde coordenadas frecuenciales, esto es, desde el dominio de Fourier. El artículo BTIA núm. 8 (de Santiago Collada, RTL-SDR: La Guerra Electrónica al Alcance de Todos los Bolsillos, 2015) contiene un apartado en el que se explican sus rudimentos. La principal causa para acudir a esta transformación se justifica en que a través de ella la operatoria disminuye drásticamente, logrando con su puesta en práctica velocidades en el seguimiento muy superiores a las técnicas convencionales descritas.

En el dominio estándar espacial se define h como la plantilla (filtro), f la forma vectorial de la imagen y g la imagen resultante de la operación de su convolución unidimensional (3).

$$f * h = g$$

$$(f * h)[x] = \sum_{dx=-\infty}^{\infty} f[dx]h[x - dx] \tag{3}$$

La anterior operación es realizable traslada al dominio de la frecuencia (Transformada Discreta de Fourier, operador $\mathcal{F}$), para finalmente hacer la transformación inversa $\mathcal{F}^{-1}$ al dominio estándar espacial. En la ecuación (4) el símbolo $\odot$ denota multiplicación escalar.

$$f * h = \mathcal{F}^{-1}\left(\mathcal{F}(f) \odot \mathcal{F}(h)\right) = \mathcal{F}^{-1}(F \odot H) \tag{4}$$

Muy similarmente a la convolución, la correlación se define como:

$$f \otimes h = g$$

$$(f \otimes h)[x] = \sum_{dx=-\infty}^{\infty} f[dx]h[x+dx] \tag{5}$$

En el dominio de Fourier (frecuencia), tomar el complejo conjugado de una señal equivale a invertir su signo.

$$f[t] = \mathcal{F}^{-1}\left(\mathcal{F}(f)^*\right)[-t] \tag{6}$$

Esto permite formalizar la correlación de la siguiente manera:

$$f \otimes h = \mathcal{F}^{-1}(F \odot H^*) \tag{7}$$

En adelante, la engorrosa operación de correlación $f \otimes h = g$ que se venía realizando queda sustituida por la más sencilla computacionalmente:

$$G = F \odot H^* \tag{8}$$

El problema a resolver va a ser el cálculo de un filtro adaptativo y exacto que satisfaga:

$$H_i^* = \frac{G_i}{F_i} \tag{9}$$

, donde el subíndice i denota la i-ésima imagen entrenada que realimenta el algoritmo. Para la conducencia a dicho filtro, el algoritmo MOSSE (Minimum Output Sum of Squared Error) calcula el filtro H^* que minimiza la suma de los cuadrados de los errores entre la salida actual $F_i \odot H^*$, resultado de la correlación y la salida deseada de la correlación G_i :

$$H^* = \min_{H^*} \sum_i \left|F_i \odot H^* - G_i\right|^2 \tag{10}$$

La solución a (10), tras operar es precisamente la expresión que corresponde al filtro MOSSE:

$$H^* = \frac{\sum_i G_i \odot F_i^*}{\sum_i F_i \odot F_i^*} \tag{11}$$

En la Figura 11 se ofrecen los resultados del proceso de seguimiento de un contacto seleccionado (marco rojo), que presenta a «nuestra cámara» distintas distancias y aspectos, modificadas paulatinamente. En la parte superior de cada imagen de la Figura 11 se distinguen de izquierda a derecha, la imagen de seguimiento instantáneo F_i, el filtro H_i^* y la salida G_i, resultado de la correlación de los dos anteriores. La consecuencia es la producción de uno claro pico en la salida, que a diferencia de lo visto (Figura 10), en los que resultan mucho más difusos y ambiguos, repercuten en una peor fiabilidad en el seguimiento. Una limitación por abordar es la no consideración en el ciclo de seguimiento de la adaptación del marco al tamaño aparente del contacto. La solución propuesta consiste en incluir en el ciclo de seguimiento un paso de refresco del objeto a detectar, que sustituiría en la iteración, el tamaño y posición del marco. Dado que la detección comporta mucha más carga de proceso que el seguimiento, resultará crítico determinar el ratio del paso de detección frente al número de ciclos de seguimiento.

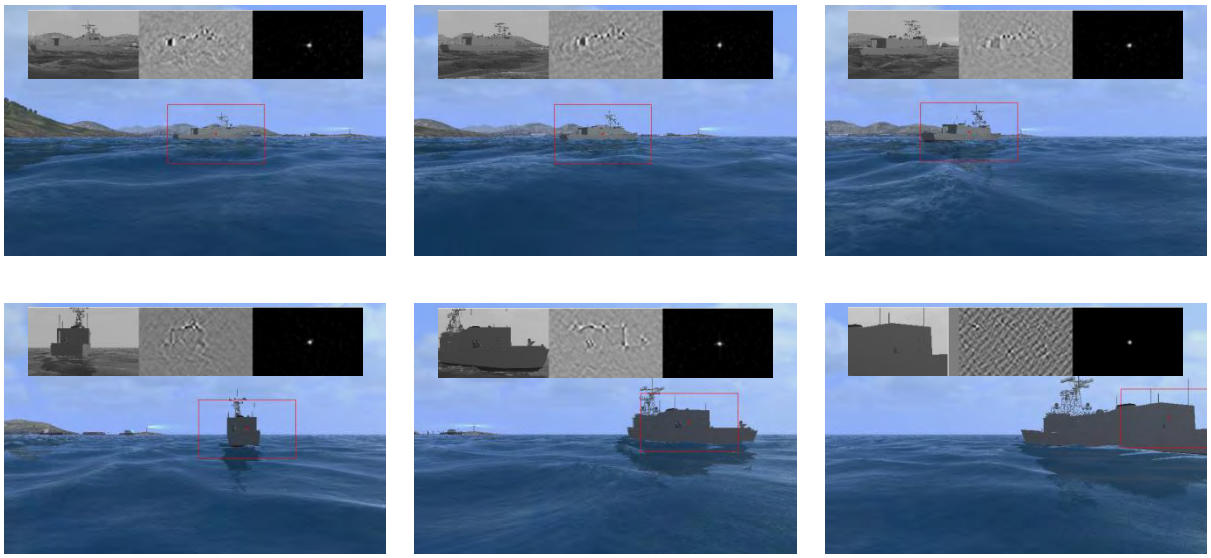


Figura 11 Seguimiento de un contacto de superficie mediante filtro MOSSE

Además, y comparativamente, la adaptación a los cambios de aspecto y velocidad relativas del contacto son muy superiores a otros métodos presentados, como puede comprobarse en la Figura 12, en la que se deja de manifiesto que a pesar de la aparición de un distractor (plataforma FFG), el seguimiento continúa intacto.

Figura 12 Seguimiento de un contacto de superficie con distractores mediante filtro MOSSE

DETECCIÓN DE OBJETOS MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS CASCADAS HAAR

La conocida no uniformidad de las características visuales de los objetos conlleva que ninguna de las técnicas señaladas anteriormente sea suficientemente fiable, en los entornos navales que estamos tratando. Recientemente, y en la demanda original de proveer de la capacidad de identificación de rostros, se han introducido otras nuevas como las basadas en las «características LBP» y muy especialmente en las «características Haar» (Viola & Jones, Robust Real-Time Face Detection, 2004). Se han realizado experimentos con ambas, siendo los resultados obtenidos por las características LBP (Local Binary Patterns) insatisfactorios, por lo que la pasaremos por alto. A continuación presentaremos las conclusiones alcanzadas del uso de las características Haar, indicando sus bondades y limitaciones.

Como finalidad se persigue determinar si un objeto de interés (contacto de superficie, inicialmente) se encuentra en una imagen, para posteriormente localizarlo en esta. Las aplicaciones civiles de ese método son muy diversas, como la identificación biométrica, asistencia a la conducción, o las más afines a nuestros objetivos: seguimiento automática de personas en videoconferencias o en labores de vigilancia. Por su velocidad, el detector mostrado es susceptible de ser empleado en aplicaciones de tiempo real, aunque esté muy sujeto a capacidad de la arquitectura hardware.

El método maneja 4 conceptos clave: En lugar del pixel como elemento canónico, se usan las denominadas 1) «características Haar» (Figura 13). En pos de aumentar la velocidad, dicha técnica incluye contribuciones como la 2) «imagen integral» (eficiencia en velocidad de detección (Figura 14). Para lograr un 3) «clasificador en cascada» (combinación eficiente de características, Figura 16), se emplea el 4) «algoritmo AdaBoost» (método de aprendizaje), como modo de llevar a cabo un entrenamiento de detección off-line previo a la detección en tiempo real.

- **Características Haar**

Las características Haar (Figura 13) funcionan como una máscara que se coloca unitariamente sobre una porción de la imagen en la que se desea la detección. Cada una de ellas devuelve un valor que representa la diferencia de niveles entre las regiones blancas y grises. De entre la multitud de opciones, el método (Viola & Jones, Robust Real-Time Face Detection, 2004) toma en consideración únicamente los 4 tipos de la Figura 13, que se despliegan en cada imagen por lugares y escalas variadas, en ventanas de un tamaño de 24 x 24, como estrategia de optimización de recursos. Sin embargo, la combinatoria genera más de 180000 posibles características asociadas. Será pues necesario introducir mejoras como la imagen integral y un algoritmo (AdaBoost, por lo general) que sea capaz de calcular la ponderación en importancia de cada una de las muestras, disminuyendo aquellas consideradas menores.

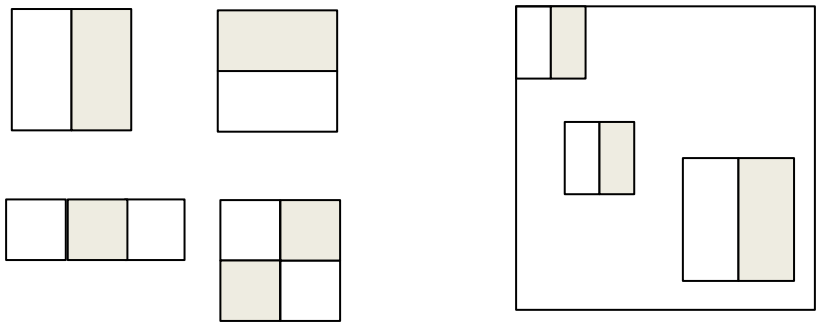


Figura 13 Características Haar usadas (Izq.). Ventana 24x24 con 3 de las posibles combinaciones para una característica Haar (posiciones y tamaños distintos) (Dcha.)

- **Imagen integral**

La imagen integral se conforma como una estrategia consistente en transformar los niveles de cada pixel en la imagen en la que se pretenda efectuar la detección, según la ecuación (12), siendo $I(x,y)$ e $II(x,y)$ la imagen integral resultante. Un ejemplo de transformación puede verse en la Figura .

$$II(x,y) = \sum_{i=1}^{x}\sum_{j=1}^{y} I(i,j) \tag{12}$$

Para disminuir el número de operaciones y este sea constante, se utiliza el par de recurrencias (13), siendo $s(x,-1) = 0$ e $II(-1,y) = 0$:

$$\begin{aligned} s(x,y) &= s(x,y-1) + I(x,y) \\ II(x,y) &= II(x-1,y) + I(x,y) \end{aligned} \tag{13}$$

2	1	2	3	4	3
3	2	1	2	2	3
4	2	1	1	1	2

I

$$II(2,3) = \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{3} I(i,j) = 11$$

2	3	5	8	12	15
5	8	11	16	22	28
9	14	18	24	31	39

II

Figura 14 Ejemplo de formación de una Imagen integral

Con el propósito de computar la suma de niveles para un rectángulo (región gris o blanca de una característica Haar), se sirve de la imagen integral, a través de la ecuación (14), en la que se considera la región delimitada por los intervalos fila $[i_0, i_1]$ y columna $[j_0, j_1]$.

$$S = II\,(i_1, j_1) + II\,(i_0, j_0) - II\,(i_1, j_0) - II\,(i_0, j_1) \tag{14}$$

En la Figura se muestra el ejemplo de cálculo del valor del nivel de una región. En conclusión, se necesitarán 2, 3 ó 4 rectángulos dependiendo la característica Haar a evaluar, esto es 6, 8 ó 9 puntos.

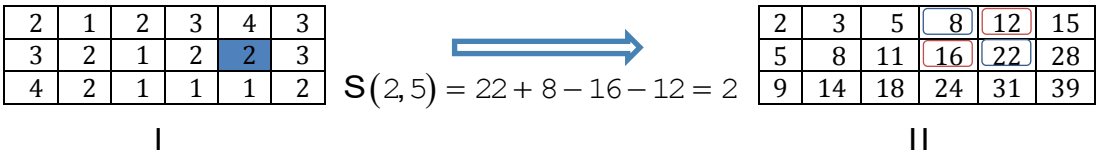


Figura 15 Ejemplo del cálculo de la suma de niveles en un área de una imagen integral

- **Clasificadores débil, fuerte y en cascada**

La evaluación de una característica Haar específica f_i en una imagen queda determinada por la diferencia de la suma de las intensidades integrales entre las regiones blancas y grises de la misma (15), considerado en definitiva, y para una sola ventana de detección del orden de miles de ellas, deslizándose en varias posiciones y escalas.

$$f_i = \sum S_{i,\,\text{blancas}} - \sum S_{i,\,\text{grises}} \tag{15}$$

El clasificador más simple se describe por una función $h(x)$ de valor binario (16), que depende de la evaluación f_i de una característica deslizándose por la sub-ventana x. La superación del umbral θ_i determina la consideración de una detección positiva.

$$h_i(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } f_i > \theta_i \\ 0 & \text{si } f_i \le \theta_i \end{cases} \tag{16}$$

Este clasificador simple no resulta ni suficiente ni eficaz por la tasa de fallos que devuelve. Para el mejorar cálculo de los niveles de umbral es necesario acudir a otro sistema. Existen clasificadores borrosos, máquinas de vectores de soporte (SVM), redes neuronales, etc. Una alternativa explotada consiste en realizar una combinación lineal de clasificadores débiles, dando como resultado en uno fuerte F, asignando a cada uno de los débiles, denotado por h_i, un peso w_i, mediante (17):

$$F = \text{signo}(w_1 h_1 + w_2 h_2 + \ldots + w_n h_n) \tag{17}$$

Los clasificadores en cascada (Figura 16) son una cadena secuencial de filtros en los que las etapas se comportan como los eslabones. Cobran sentido por su contribución en el tratamiento eficiente del tiempo, mediante la reducción del número de veces que se accede a un clasificador completo. Por cada etapa superada disminuye la probabilidad de falsa alarma, incidiendo por tanto en una detección más selectiva. El clasificador funciona de manera que cuando en una etapa no haya detección, en lugar de saltar la siguiente,

se da por finalizado el proceso, repercutiendo por tanto en un ahorro de tiempo, y en favor de las aplicaciones en tiempo real. Este proceso resulta muy conveniente debido a que la expectativa en exploración es la ausencia de contactos de interés.

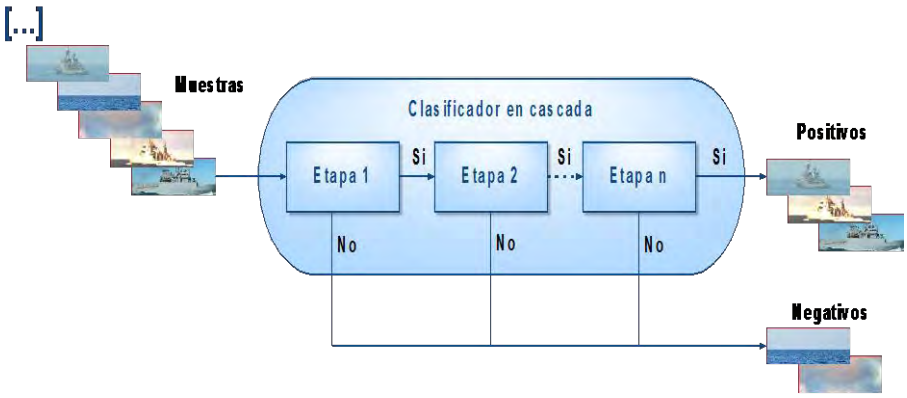


Figura 16 Idea del funcionamiento de un clasificador en cascada

- **Algoritmo Adaboost**

Vista la manera de crear un clasificador fuerte F, la selección del valor de los pesos w_i resulta crucial. El uso de la metodología Boosting, en sus diferentes variedades, procura dotar al clasificador de la propiedad aprendizaje, y perseguir la creación de clasificadores fuertes a partir de otros débiles predecesores a los que se les ha ajustado el umbral para minimizar los falsos positivos. Adaboost es el algoritmo elegido por (Viola & Jones, Robust Real-Time Face Detection, 2004), que correrá en cada una de las etapas del clasificador.

- **Práctica y resultados de los Clasificadores Haar en contactos visuales de superficie**

Usando las librerías OpenCV, y para implementar una aplicación de detección por cascadas Haar, será indispensable contar previamente de un clasificador entrenado, en forma de archivo .xml, para cuya obtención se sigue el siguiente proceso:

1. Recolección de una cantidad ingente de imágenes positivas y de imágenes negativas.
2. Delimitar de cada imagen positiva el rectángulo que corresponde con el objeto a detectar.
3. Crear un archivo .vec manejable por OpenCV, que contiene todas las imágenes positivas reducidas a un mismo pequeño tamaño (72 x 24 pixel en este caso, debido a las proporciones de los barcos eminentemente longitudinales), en blanco y negro.
4. Entrenar el clasificador, con los parámetros convenientes, teniendo como entrada el .vec creado y las imágenes negativas. La salida será el archivo .xml deseado. El parámetro más determinante es el número de etapas a considerar, relacionada directamente con la reducción de probabilidad de falsa alarma.

A pesar de que poner en práctica el método es perfectamente abordable aun ignorando completamente su complejo funcionamiento, es preciso seguir los pasos señalados, todos ellos de gran aridez. Digno de mención es el notable consumo de tiempo y esfuerzo en la recolección de imágenes, su correspondiente preparación, así como el proceso de entrenamiento automático, cuya consecución lleva días e incluso semanas, especialmente si se aumenta el número de etapas.

La correcta selección de las muestras resulta crítica. Tratándose de un proceso de ensayo y error, y a juicio generalizado, es de esperar que sean necesarias cientos de muestras positivas y más de mil negativas.

Por el contrario, para la exitosa experiencia de (Ball, 2013) para la detección de bananas (se pretendía demostrar la validez en la detección de objetos distintos de los rostros), fueron utilizadas únicamente 40 muestras positivas y 600 negativas, concluyendo que la calidad de las muestras resulta no menos importante que su número grueso.

La detección de contactos visuales marítimos ha sido abordada por (Bloisi, Automatic Maritime Surveillance With Visual Target Detection, 2010), poniendo sus colaboradores a disposición pública (no así el archivo final .xml) un conjunto de ficheros que contiene imágenes de 1532 embarcaciones (positivas), de las más variopintas iluminaciones y perspectivas, más otra constituida de miles de imágenes negativas. Siguiendo el espíritu de (Ball, 2013) la selección de las muestras positivas se ha realizado tratando que su número sea mínimo, mediante la reducción a únicamente las que muestren frontalmente los costados, descartando todas las demás. Esto es, se prescindirá de aquellas aéreas o que muestren cubiertas. Su sentido radica en la presunción de que la plataforma donde se monte la cámara se encontrará en el mismo plano que los objetos a detectar (la superficie de la mar).

La forma de paliar la carestía de muestras positivas válidas se ha realizado mediante Vehicle Simulator. Se dispone de varios modelos CAD de buques de especial interés (FFG, AWD, LHD, MHS, etc.), de manera que quedan suplidas las convencionales fotografías por imágenes de los modelos rotando sobre sí, y para en definitiva cubrir todos los aspectos (proa, amura, través, aleta y popa). Todos los resultados presentados se basan en 180 fotografías positivas entre reales y de escenario simulado, más 596 negativas, las cuales corresponden en su práctica totalidad a imágenes rechazables (borreguitos de ola, nubes, infraestructuras portuarias, edificios, litoral, etc.)

En la Figura 17 se observa el desigual resultado obtenido para una misma imagen dependiendo de si se toman 15, 17 ó 18 etapas (primera fila) y cómo ecualizando la imagen y volviendo a realizar idéntico proceso, los resultados mejoran notablemente: el número de falsas alarmas disminuye (segunda fila).

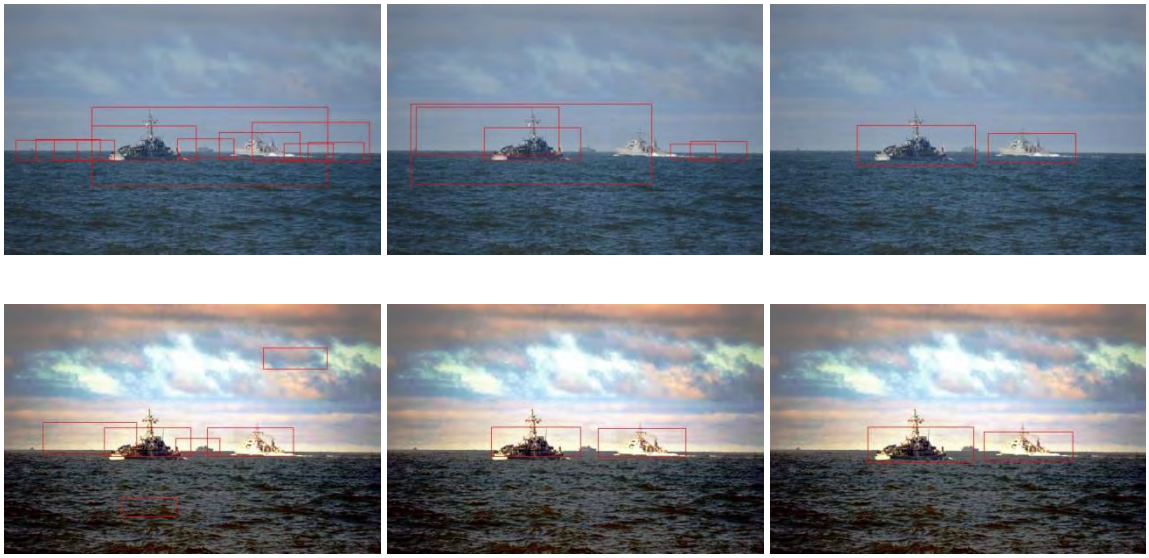


Figura 17 Resultado del proceso de detección en una imagen para 15, 17 y 18 etapas (fila superior). Mismo proceso habiendo ecualizado previamente las imágenes (fila inferior)

En la Figura 18 se observan resultados satisfactorios obtenidos con imágenes que incorporan elementos adversos como oclusiones, distractores, o aspectos distintos del través.

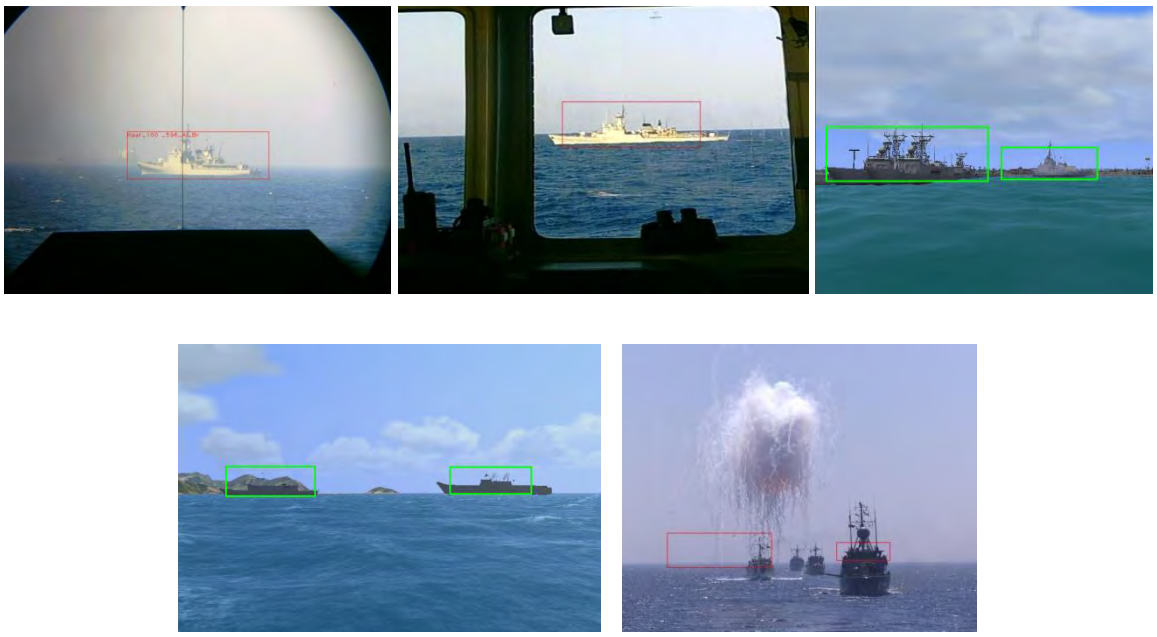


Figura 18 Resultados de detección de contactos visuales de superficie mediantes cascadas Haar

Una vez que queda acreditada la suficiente fiabilidad en la detección de los contactos visuales de superficie, usando el método de los clasificadores en cascada, el asunto a dilucidar es su validez en el seguimiento de dichos contactos. Las pruebas realizadas en un PC portátil i7-2.59 GHz señalan que por arquitectura es posible. Trasladar el proceso al pcDuino3 obligará a cumplir con la particularidad de que la generación del escenario ocurra igualmente en el PC (emulando la cámara), y se inyecte la señal de video resultante a través de la capturadora AV comercial seleccionada, la cual proporciona 720 x 576 pixeles de resolución. Anteriormente, ambas funciones ocurrían en el mismo PC, sirviéndose de una tubería software para inyectar la señal de video procedente de Vehicule Simulator.

El primer condicionante será la comprobación de que la velocidad de proceso en el pcDuino3 no siempre bastará para garantizar el refresco en tiempo real (con mayor razón si corren en el SBC varias aplicaciones simultáneamente). Aún cuando no ocurriese dicho impedimento, nos encontraremos con que un clasificador con un número bajo de etapas, dará abundancia de falsas alarmas (incluso el contacto se ha detectado). Por el contrario, el exceso de número de etapas puede provocar que no llegue a detectarse. La muestra en la Figura 19 de un mismo instante (tomando distinto número de etapas), y en 2 escenas distintas da idea lo dicho. Por tanto, y a pesar de disponer de capacidad de cálculo suficiente, el correcto seguimiento quedará comprometido. Esta situación se pone característicamente de relieve cuando se hallan elementos distractores, en especial el litoral, y más si cabe cuando éste se encuentre detrás del contacto, confundiéndose con él (Figura 19, arriba-derecha). Si se dota al sistema de un detector de la línea del horizonte, valiéndose un AHRS (Attitude and Heading Reference System) en la plataforma, y/o se incorpora al proceso un detector de líneas rectas (Transformada de Hough p.ej.), contribuiría a hacer más confiable la detección por presumir que rechazaría falsas detecciones (nubes, promontorios, etc.) a partir de un almicantarat máximo umbral.

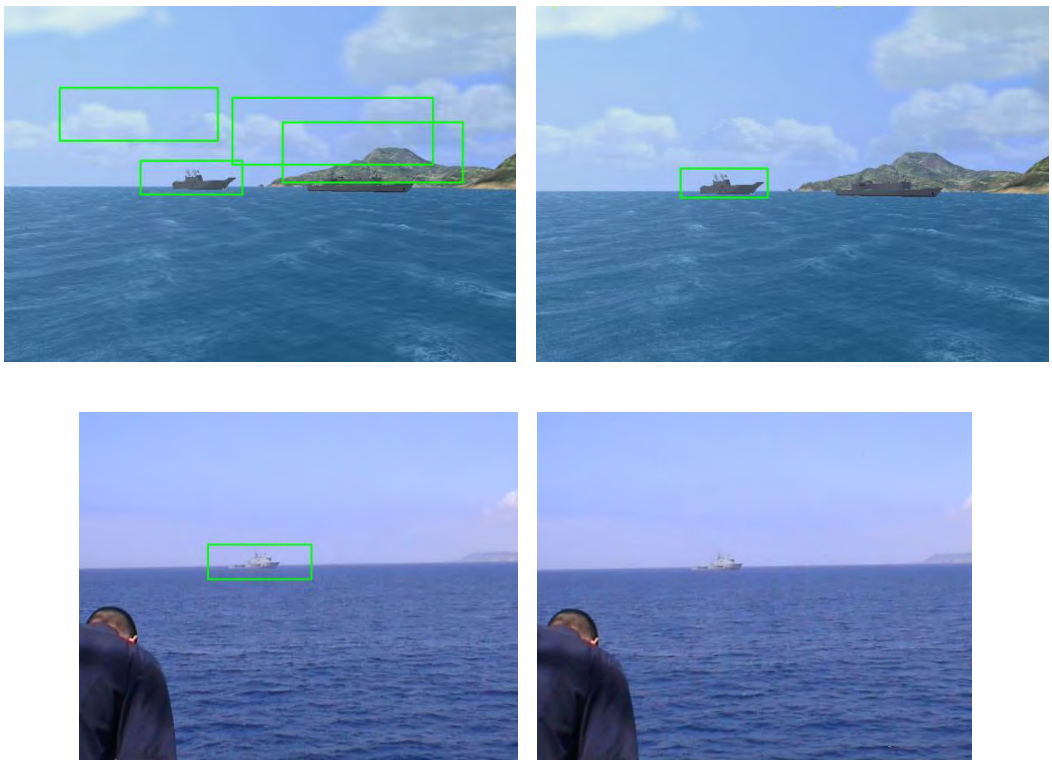


Figura 19 Resultados de detección de contactos visuales de superficie mediante cascadas Haar con 15 y 18 etapas (Izq. y Dcha. respectivamente)

CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

La visión por computadora, en lo que se refiere a los requerimientos hardware subyacentes, es muy demandante. Queda evidenciado que algunos ordenadores monoplaca de coste y tamaño reducidísimos habrían sido de una capacidad difícilmente intuible hace unos pocos años, equiparable a la de ordenadores PC punteros de hace poco más de una década (Computer Hope). El método de cascadas Haar, con un clasificador lo suficientemente bien depurado para que reporte una probabilidad de falsa alarma asumible, junto a un filtrado de paso alto que paliase el efecto perjudicial en el seguimiento de las no detecciones producidas ocasionalmente en presencia de contacto, podría servir en ordenadores PC actuales como un sistema fiable de seguimiento. Por otro lado, el filtro MOSSE, por su gran velocidad y baja latencia relativas se reivindica muy probablemente como la mejor opción para el seguimiento de objetos. En contrapartida, el correcto encaminamiento del marco es fácilmente truncable ante interferencia de oclusiones (deliberadas o no), tendiendo al deslizamiento hacia estas. Por tanto, resulta escasamente resistente a la decepción. Además, el algoritmo original no observa el reescalado del marco de seguimiento. Este indeseable hecho podría evitarse mediante la combinación de ambos métodos, de manera que en el ciclo se intercalase una reidentificación por cascadas Haar del blanco, correlacionándolo con el marco de seguimiento MOSSE.

El sentido de contemplar SBC reposa sobre su idoneidad de uso en plataformas no tripuladas. En tal caso e inmediatamente, surgirá la necesidad de la integración de estas, en redes de mando y control. En la suposición de la exigencia de capacidades de comunicaciones que abarquen alcances dentro del horizonte y de que únicamente se optará por antenas no estabilizadas, omnidireccionales y ópticamente discretas, constreñirán a las que por diseño cubran desde el margen superior de la banda HF hasta UHF. La limitación expuesta implica la disposición de un ancho de banda muy pequeño, dificultando por ello la transmisión de datos tácticos y más aún la de Inteligencia de Imágenes (IMINT) a alta velocidad. Se han realizado experimentos con resultado satisfactorio con emisores de 8W en V-UHF en modulación-demodulación audio FSK a velocidades de hasta 300 baudios. Se supone que dichas prestaciones podrían ser suficientes para el esta-

blecimiento de comunicaciones tácticas e incluso de transmisión de imágenes de interés y asignación de seguimientos y enganches, en alcances intrahorizonte.

La Figura 20 pretende dar idea simplificada de un hipotético escenario, montado sobre una plataforma no tripulada, apoyándose sobre una Estación Base. En el ámbito de la Armada es el _(AJEMA, Concepto de Operaciones Navales, 2015) el documento coadyuvante del Objetivo de Capacidades Militares a través de la actuación de la Fuerza Naval. Se estima que además de las ya citadas, alguna versión UXV del sistema propuesto podría contribuir en Operaciones Seguridad Marítima, a través de elementos posibilitadores, como el Conocimiento del Entorno Marítimo, Capacidad C4ISTAR y Protección de la Fuerza. Más específicamente, esta clase de vehículos podrían servir de apoyo a Trozos de Visita y Registro o en misiones de Reconocimiento, Acciones sobre Objetivos o Asalto a Buques, propias de la Fuerza de Guerra Naval Especial (FGNE).

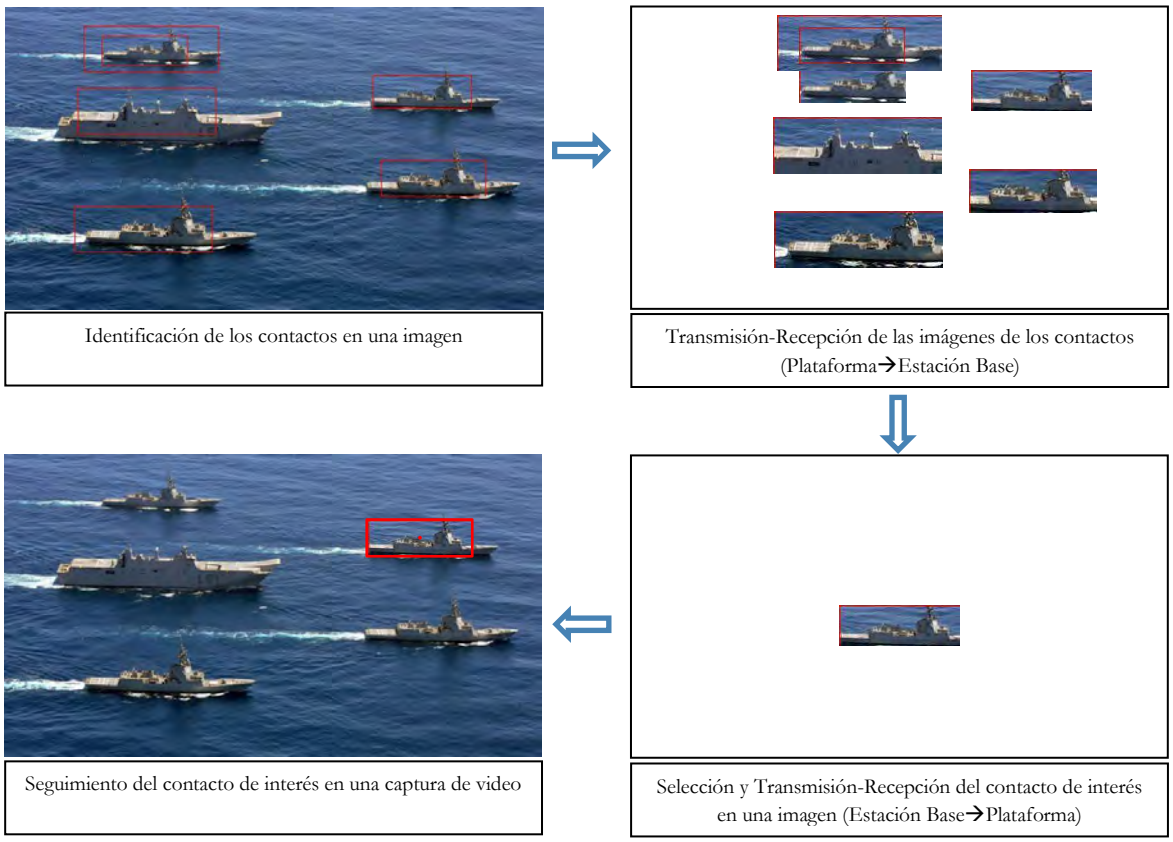


Figura 20 Idea del proceso propuesto para la identificación, asignación y seguimiento de contactos visuales de superficie

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJEMA. (2012). Líneas Generales de la Armada. Obtenido de http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/mardigital_docinstituc/prefLang_es/00_docu-institucional-armada

AJEMA. (2015). Concepto de Operaciones Navales. Obtenido de http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowBinaryServlet?nodePath=/BEA%20Repository/Desktops/Portal/ArmadaEspannola/Pages/conocenos_ajema/05_concepto_operaciones/01_capitulo_01_es/archivo1//archivo

Ball, T. (2013). Train Your Own OpenCV Haar Classifier. Obtenido de Coding Robin: http://coding-robin.de/2013/07/22/train-your-own-opencv-haar-classifier.html

Bloisi, D. (2010). Automatic Maritime Surveillance With Visual Target Detection. Obtenido de http://www.dis.uniroma1.it/~bloisi/papers/bloisi-maritime-surveillance.pdf

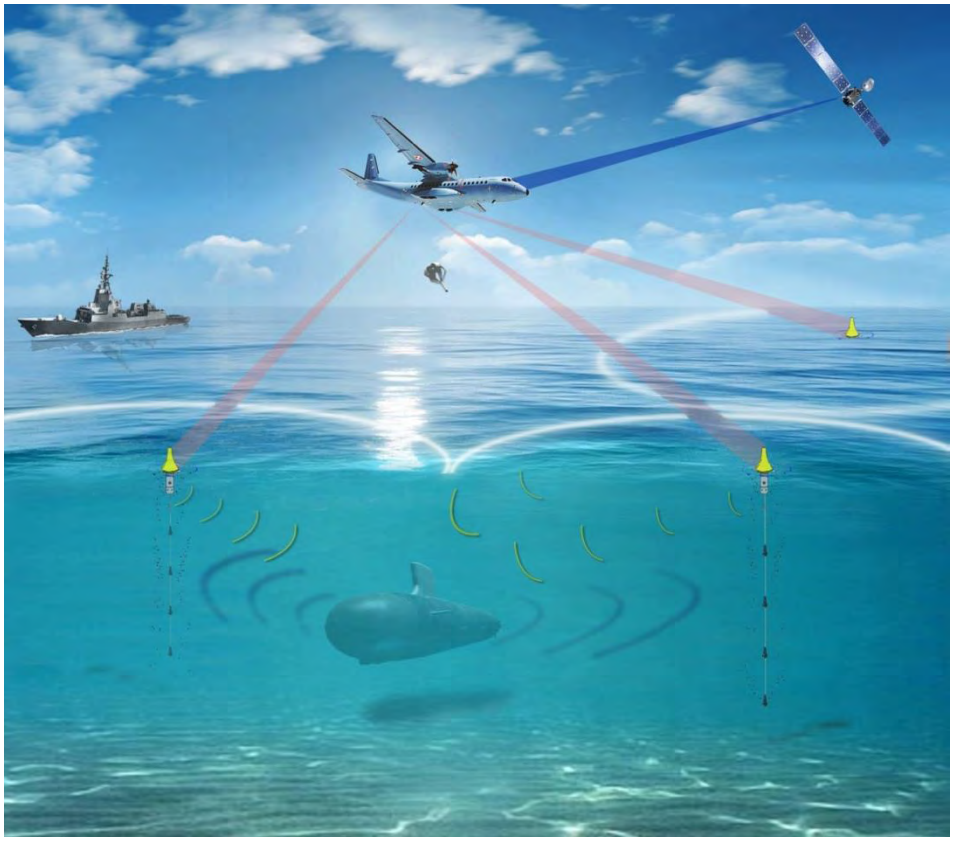
Bolme, D. S. (2011). Theory and Applications of Optimized Correlation Output Filters. Obtenido de https://dspace.library.colostate.edu/bitstream/handle/10217/47326/Bolme_colostate_0053A_10249.pdf?sequence=1

Brandwood, D. (2003). Fourier Transforms in Radar and Signal Processing. Artech House.

Bressert, E. (2013). SciPy and NumPy. Sebastopol: O'Reilly.
Computer Hope. (s.f.). Obtenido de Computer Processor History: http://www.computerhope.com/history/processor.htm
Corke, P. (2011). Robotics, Vision and Control. Fundamental Algorithms in Matlab. Brisbane: Springer.
Couch, L. W. (2013). Digital and Analog Communication Systems. Pearson.
Dawson-Howe, K. (2014). A Practical Introduction to Computer Vision with OpenCV. Dublin: John Wiley & Sons Ltd.
de Santiago Collada, J. M. (2014). Pilotos Automáticos para Buques de Superficie: el Modelo de Nomoto. Obtenido de Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowBinaryServlet?nodePath=/BEA%20Repository/Desktops/Portal/ArmadaEspannola/Pages/mardigital_revistas/09_boletin_etsian/2014/02_btn_num_7_Diciembre_2014_es//archivo
de Santiago Collada, J. M. (Julio de 2015). RTL-SDR: La Guerra Electrónica al Alcance de Todos los Bolsillos. Obtenido de Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowBinaryServlet?nodePath=/BEA%20Repository/Desktops/Portal/ArmadaEspannola/Pages/mardigital_revistas/09_boletin_etsian/2015/01_btn_num_8_Julio_2015_es//archivo
Dennison, M., & Fielding, J. (2011). Radio Communication Handbook. Bedford: Radio Society of Great Britain.
Dirección General de Armamento y Material. (11 de septiembre de 2014). Resolución 320/38135/2014. Programa Coincidente.
Downey, A. B. (2012). Think Python. Sebastopol: O'Reilly.
Hinault, X. (2014). Le pcDuino v3 + Pyduino. Obtenido de http://www.mon-club-elec.fr/
Howse, J. (2013). OpenCV Computer Vision with Python. Birmingham: Pack Publishing.
Intel IPP. (2015). Obtenido de https://software.intel.com/en-us/intel-ipp/
Itseez. (2015). OpenCV. Open Source Computer Vision Library. Obtenido de http://opencv.org/
LinkSprite pcDuino3. (2015). Home of pcDuino, developer's new choice. Obtenido de http://www.linksprite.com/?page_id=812
LTI-Lib 2. (2015). Obtenido de http://www.ie.itcr.ac.cr/palvarado/ltilib-2/homepage/
Luque, B. (2008). Apuntes de Variable Compleja. Obtenido de http://www.dmae.upm.es/WebpersonalBartolo/MmIoficial.html
Margolis, M. (2011). Arduino Cookbook. O'Reilly.
Mathworks. (2015). Obtenido de Image Processing Toolbox: http://es.mathworks.com/products/image/
Mordvintsev, A., & Abid, K. (2014). OpenCV-Python Tutorials Documentation. Obtenido de https://media.readthedocs.org/pdf/opencv-python-tutroals/latest/opencv-python-tutroals.pdf
Morton, T. (s.f.). OpenCV for Computer Vision in Python. Obtenido de Wikibooks: http://en.wikibooks.org/wiki/Applied_Robotics/Sensors_and_Perception/Open_CV/Basic_OpenCV_Tutorial
Naidu, V., & Raol, J. (s.f.). Object Tracking using Image Registration and Kalman Filter. Obtenido de http://nal-ir.nal.res.in/8530/1/S8-8.pdf
OpenCV. (2015). Obtenido de http://opencv.org/
Portal de Software Libre. (2015). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Portal:Software_libre
Prince, S. J. (2012). Computer Vision: Models, Learning and Inference. Cambridge University Press.
Revolutions. (2010). Obtenido de Programming languages, ranked by popularity: http://blog.revolutionanalytics.com/popularity/page/3/
Rezaei, M. (2014). Creating a Cascade of Haar-Like Classifiers: Step by Step. Obtenido de University of Auckland: https://www.cs.auckland.ac.nz/~m.rezaei/Tutorials/Creating_a_Cascade_of_Haar-Like_Classifiers_Step_by_Step.pdf
Sharif, H. (2010). Surveillance Event Detection and Monitoring. Lille: Université des Sciences et Technologies de Lille.
Solem, J. E. (2012). Programming Computer Vision with Python. Sebastopol: O'Reilly.
SOPT. (2013). Portal de Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa. Obtenido de Presentaciones de las Jornadas Técnicas ETSIAN: “Vehículos No Tripulados de Aplicación Naval”: http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/detallepublicacion.aspx?publicacionID=166
Subdirección General de Tecnología y Centros. (2010). Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID). Obtenido de http://www.portalcultura.mde.es/Galerias/publicaciones/fichero/Estrategia_tecnologia_ETID_2010.pdf
Szeliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications. Lake Wenatchee: Springer.
The VXL Homepage. (2015). Obtenido de C++ Libraries for Computer Vision Research and Implementation: http://vxl.sourceforge.net/
Vehicle Simulator. (2009). Obtenido de Quality Simulations: http://www.qualitysimulations.com/vsf/
Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid Object Detetion using a Boosted Cascade of Simple Features. Obtenido de https://www.cs.cmu.edu/~efros/courses/LBMV07/Papers/viola-cvpr-01.pdf
Viola, P., & Jones, M. (2004). Robust Real-Time Face Detection. Obtenido de International Journal of Computer Vision, vol. 57: http://www.vision.caltech.edu/html-files/EE148-2005-Spring/pprs/viola04ijcv.pdf
Wagner, P. (2012). Face Recognition with Python. Obtenido de http://www.bytefish.de/pdf/facerec_python.pdf
Willow Garage. (2012). The OpenCV Reference Manual. Obtenido de http://breckon.eu/toby/teaching/dip/opencv/manual/opencv242refman.pdf
Zhao, L., & Liu , J. (2014). Introduction to pcDuino. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/pcduino/book/Introduction+to+pcDuino.pdf

SPAS, el nuevo Sistema de Procesador Acústico de Sonoboyas de SAEs

AN (CIA-MO-EOT) Mª Concepción Mazón Herrera
JAL-DIC



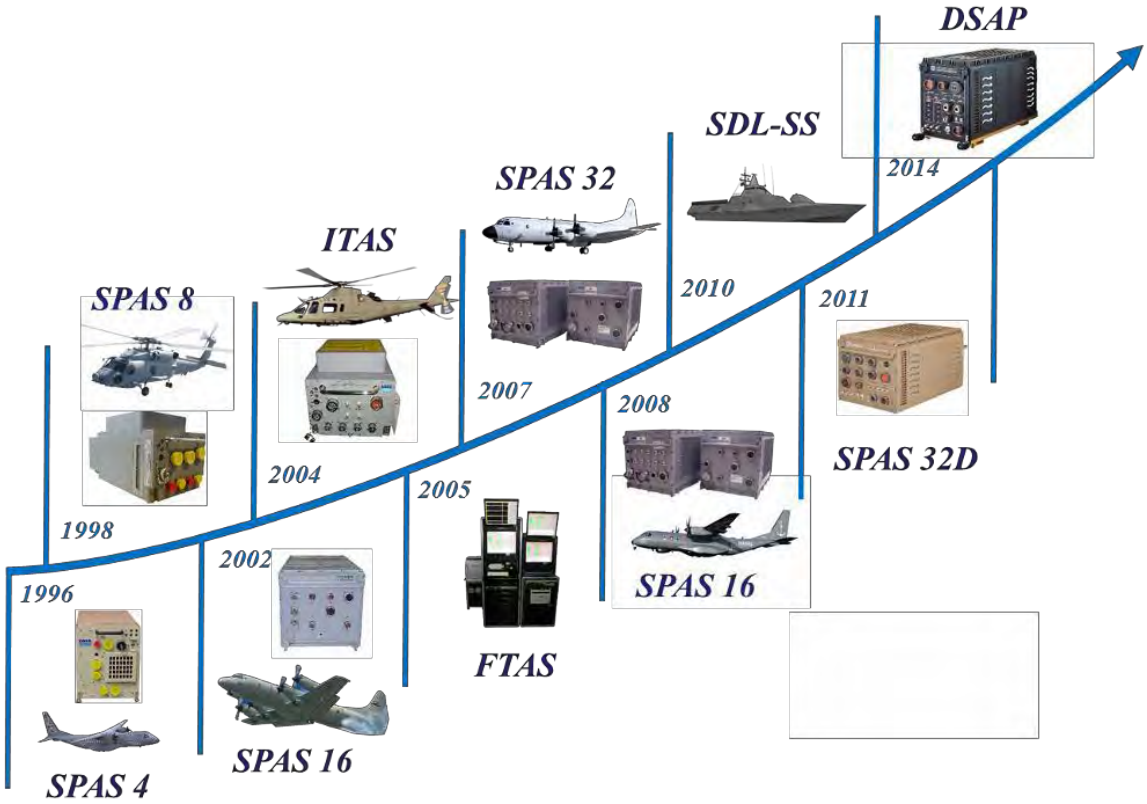
SAES ha desarrollado un subsistema acústico completo e integrado, el cual está formado por el **Procesador Acústico SPAS**, un Receptor de Sonoboyas, una Radio V/UHF, Sistema OTPI, un Grabador Digital, y un Sistema Data Link capaz de intercambiar información táctica, acústica y no acústica (EO y RADAR) con otras fuerzas desplegadas en la misión ASW. El **Subsistema Acústico SPAS**, puede ser instalado en modo "*Stand Alone*" o integrado con el "*Sistema de Misión*" en aviones, barcos y helicópteros.

En la actualidad, el Subsistema Acústico SPAS se encuentra plenamente operativo a bordo de aviones de patrulla marítima (P3-Orion, C-295), de helicópteros (SH-60B, Agusta Westland A109-LUHS) y corbetas (corbetas tipo Visby de la Armada de Suecia).

Los aviones de patrulla marítima (MPA) utilizan habitualmente en operaciones del tipo ASW sensores acústicos consistentes en sonoboyas pasivas y activas, y otros no acústicos que pueden se pasivos (ESM, FLIR, MAD) o visuales activos (Radar), con el objetivo de detectar, localizar, clasificar, seguir y atacar submarinos.

En los últimos 12 años, SAES ha desarrollado una familia de procesadores acústicos de sonoboyas (SPAS) capaces de procesar desde 4 (SPAS-4) y 32 sonoboyas (SPAS-32), hasta 64 sonoboyas (DSAP) y

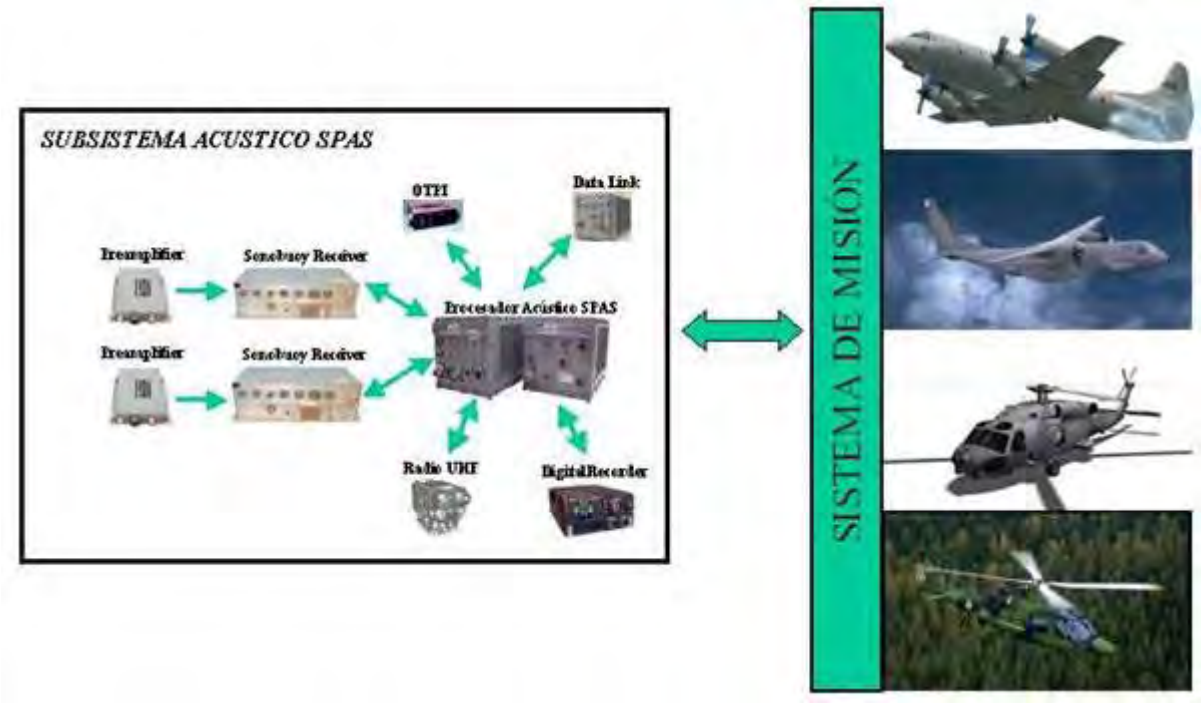
puede procesar simultáneamente sonoboyas activas y pasivas (con implementación digital y analógica).



Los últimos SPAS son:

- Digital Sonobuoy Acoustic Processor DSAP (2014).
- SPAS 32-D (2011)
- SDL-SS Suecia (2010)
- SPAS-16 Chile (2008)
- FTAS-Brasil (2007)
- SPAS-32(2007)
- ARAS Ejército del Aire (2005)
- SDL-AS Suecia (2004)
- SPAS-16 Ejército del Aire (2002)
- SPAS-8 Armada (1998)
- SPAS-4 Ejército del Aire (1996)

Y los tipos de sonoboyas que pueden procesar son: LOFAR, DIFAR, VLAD, DICASS, ADAR, LFAS/LFCS, BARRA, HIDAR, CAMBS, ANM, BATHY.



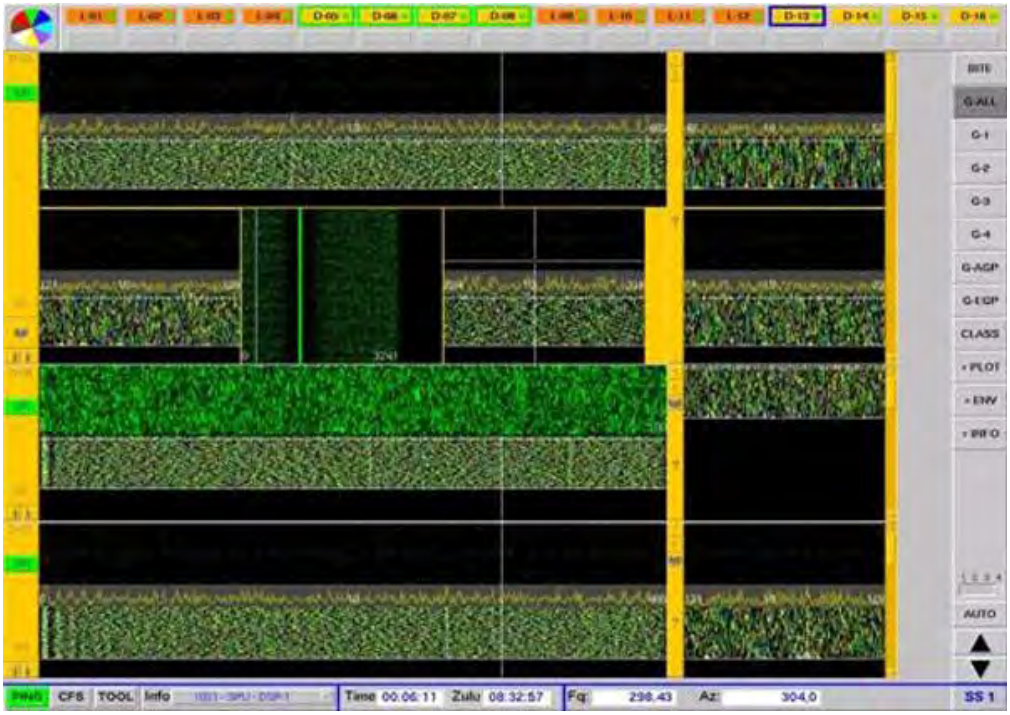
Basándose en el análisis de las señales acústicas adquiridas por las sonoboyas desplegadas, el Subsistema Acústico SPAS proporciona los medios para detectar, localizar, clasificar, y seguir submarinos y buques de superficie.

Un despliegue adecuado de sonoboyas es primordial para una correcta misión ASW; así que, como ayuda para el despliegue, el Subsistema Acústico SPAS ofrece herramientas de predicción de prestaciones (trazado de rayos, Mean Detection Range y Probability Detection Range) basadas en el procesado de sonoboyas BATHY, ANM y en modelos de propagación contrastados.

En detección, el sistema SPAS proporciona distintos tipos de análisis, en función del tipo de sonoboya desplegada, tales como un análisis en banda ancha que muestra los resultados, para cada sonoboya pasiva direccional, en presentaciones Bearing/Time (BTI) y Bearing/Amplitude. Además, y para facilitar las tareas de localización de amenazas, el sistema integra el procesado en banda ancha sobre un conjunto de sonoboyas pasivas direccionales seleccionadas por el operador, y lo muestra en un plot de energía pasivo.

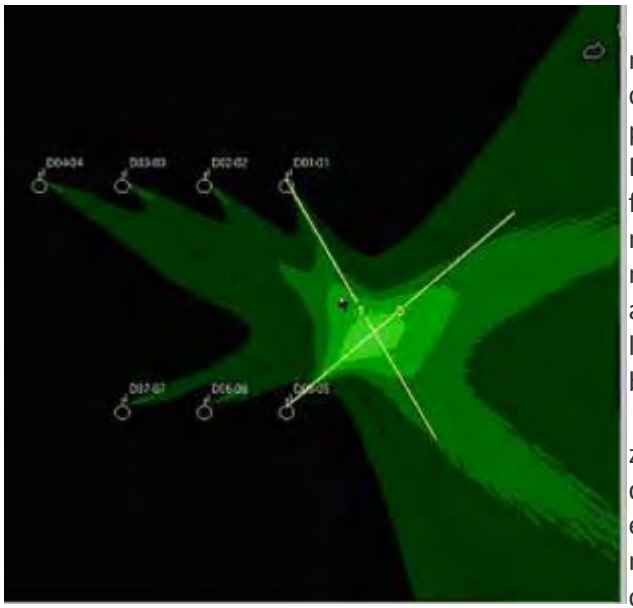
Además, permite otro tipo de análisis como el banda estrecha, que muestra los resultados para cada sonoboya pasiva en presentaciones frecuencia/tiempo (LFI), frecuencia/amplitud (ALI) y marcación/frecuencia (BFI); el de transients, que muestra los resultados, para cada sonoboya pasiva, en presentaciones frecuencia/tiempo (LFI); el de Demon y Doble Demon, que permite ver los resultados para cada sonoboya pasiva del análisis Demon en presentación frecuencia/tiempo (LFI) y del análisis Doble Demon en presentación frecuencia/frecuencia (portadora/análisis); o el de procesado de pings CW y FM monoestáticos y multiestáticos para sonoboyas activas direccionales.

El sistema SPAS emite y procesa pings del tipo CW, FM Up, FM Down y COMBO, tanto en modo monoestático como multiestático. El resultado de los pings monoestáticos se muestran en presentaciones Bearing/Range (BRI), Doppler/Range (DRI) y Amplitude/Range (ARI). En multiestatismo, el Subsistema Acústico SPAS integra el procesado del ping multiestático asociado a un grupo de sonoboyas activas formadas por el operador, y además lo muestra sobre un plot geográfico multiestático, favoreciendo así la localización del contacto con una alta precisión.



Para facilitar las tareas de detección y clasificación de una amenaza específica, el Subsistema Acústico SPAS proporciona mecanismos de alertas, con el objetivo de avisar cuando una de las sonoboya desplegadas detecta una posible amenaza. Estos mecanismos están basados en una base de datos de firmas acústicas, permitiendo al operador, consultar y modificar los criterios de detección del contacto durante la misión.

Para la localización de contactos, el Subsistema Acústico SPAS proporciona un conjunto de herramientas de ayuda a la localización (Target Motion Analysis TMA, filtro de Kalman, DOP-CPA, CPA (Closest Point of Approach), Lloyd's Mirror, LOFIX(Low Fixing), HYFIX(Hyperbolic Fixing) que representan sobre un plot geográfico la posición, el rumbo y la velocidad del contacto, facilitando la localización y el seguimiento de las amenazas.



Toda la información táctica generada, así como los datos adquiridos por las distintas sonoboyas durante una misión ASW, son registradas en un equipo grabador digital compatible con la STANAG 4283 Ed. 5, con el objeto de analizar en profundidad y confirmar en tierra los contactos detectados durante la misión, así como poder detectar otras posibles amenazas que pudieron pasar desapercibidas. La labor de análisis post-misión es primordial en labores de inteligencia acústica (ACINT) y para mejorar y actualizar la base de datos de amenazas.

El análisis en tierra de la misión, se debe realizar con un sistema que permita el proceso y análisis de las grabaciones en una tiempo récord, así como la extracción de datos que permita la creación y mantenimiento de una base de datos de inteligencia acústica.

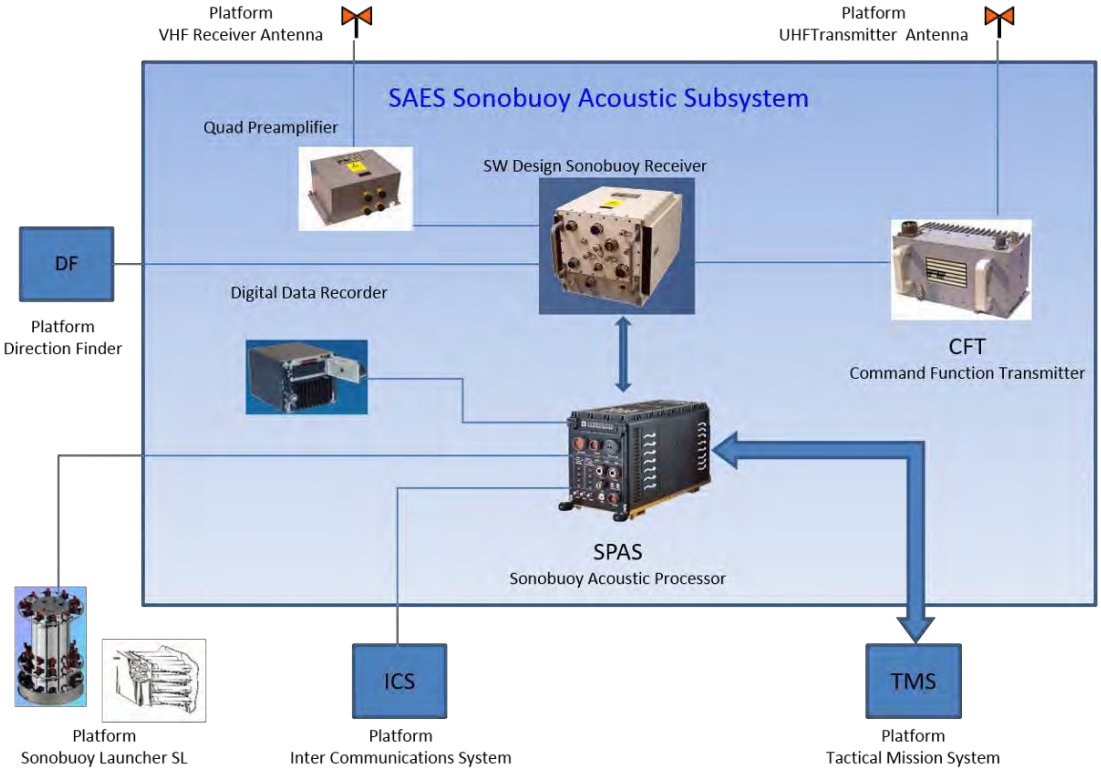
Para tal fin, SAES ha desarrollado **el sistema analizador rápido de sonoboyas ARAS**, capaz de analizar una misión, bien en tiempo real, velocidad rápida (x2, x4, x8 y x16), bien a velocidad lenta (x1/2, x1/4). El sistema tiene las mismas capacidades de análi-

sis y herramientas de ayuda que el sistema embarcado SPAS, pero además ofrece prestaciones tales como una mayor resolución en frecuencia; extracción de la información recibida por una sonoboya correspondiente a un contacto (datos crudos), y su registro en una base de datos de firmas acústicas (ACINT); extracción y almacenamiento de los datos procesados sobre sonoboyas en la base de datos ACINT de los datos procesador sobre sonoboyas ANM y BATHY, permitiendo asociar los resultados a la posición geográfica y a la fecha y hora de la misión; así como el almacenamiento de las misiones ASW completas con objeto de volver a analizarlas, y proporcionar entrenamiento a las dotaciones.

Además, permite la generación de informes sobre los contactos detectados y la preparación y generación de una librería reducida de firmas acústicas específica de la misión, que será almacenada en el Subsistema Acústico SPAS previo al inicio de la misión, facilitando las operaciones de detección y localización automática de amenazas.

El sistema ARAS se encuentra plenamente operativo como soporte en tierra a las misiones ASW, y ha demostrado su eficacia e interoperabilidad durante maniobras ASW con fuerzas de la OTAN.

Un diagrama de bloques de un Sistema de Sonoboyas Acústico con SPAS se muestra en la siguiente figura:

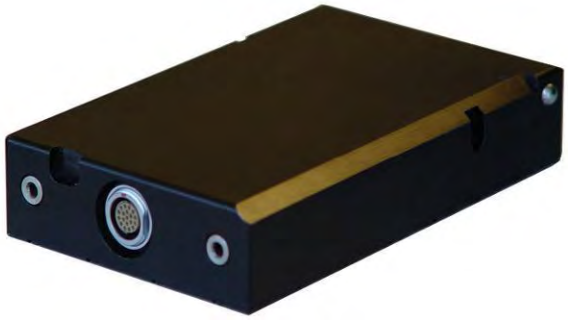


En el que los bloques empleados serían:

SDR (SW Defined Sonobuoy Receiver): El SDSR puede recibir y demodular señales de VHF de sonoboyas y proporciona salidas digitales para grabar y procesar. También proporciona una salida AM demodulada de uno de los canales VHF seleccionados para alimentar el Buscador Direccional (DF, Directional Finder) para propósitos de posicionamiento.

SPAS AP (Sonobuoy Acoustic Processor): Es la unidad central y de control del Sistema acústico. Todos los procesos tácticos y acústicos se localizan en este módulo. Está formado por un chasis resistente con placas electrónicas.

DDR (Digital Data Recorder): Esta unidad se usa para grabar la información acústica y operacional existente en el sistema.



CFT (RF amplifier): Esta unidad es capaz de amplificar los comandos UHF

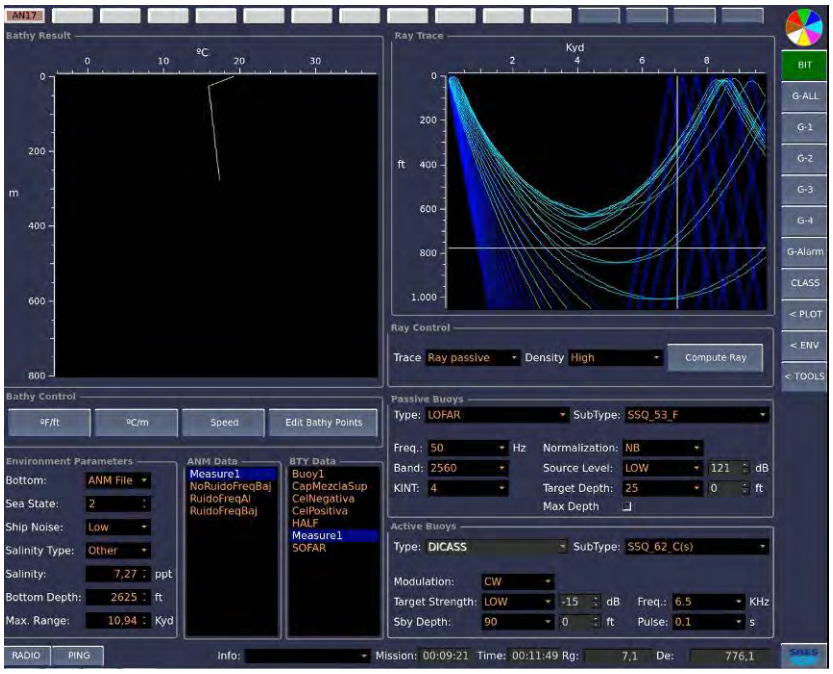
RF (Preamplifier): Esta unidad proporciona un filtrado de banda y baja amplificación del ruido de las entradas de antena**.**

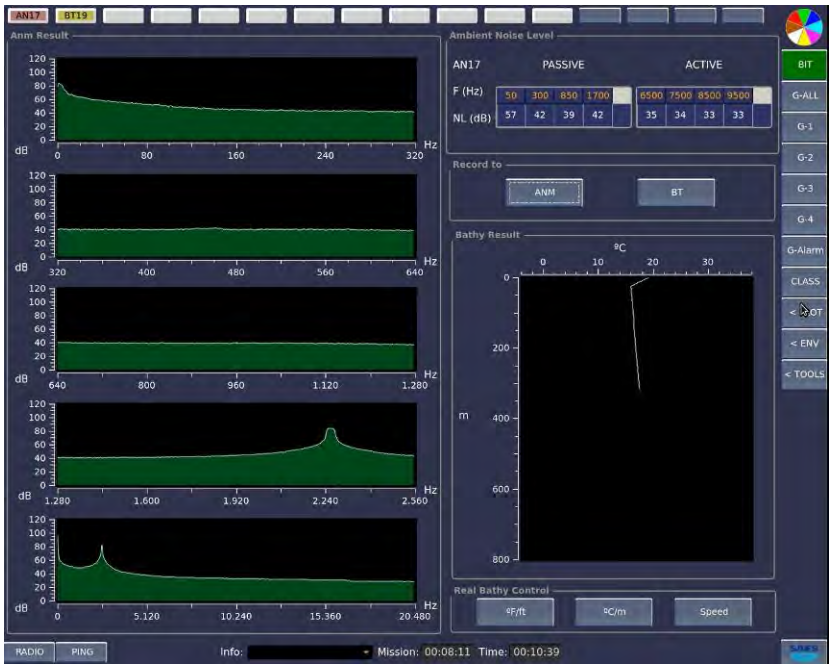
Acoustic Operator Position (SO position): Esta unidad es el sensor de posición acústica. Se basa en una pantalla en color, un ratón y un teclado.

GSE (Ground Support Equipment): GSE se basa en un interface con un portátil con la unidad SPAS para permitir la carga de los datos de la misión durante el pre-vuelo y la descarga de los datos de BIT erróneo y la información acústica relevante durante la post-misión.

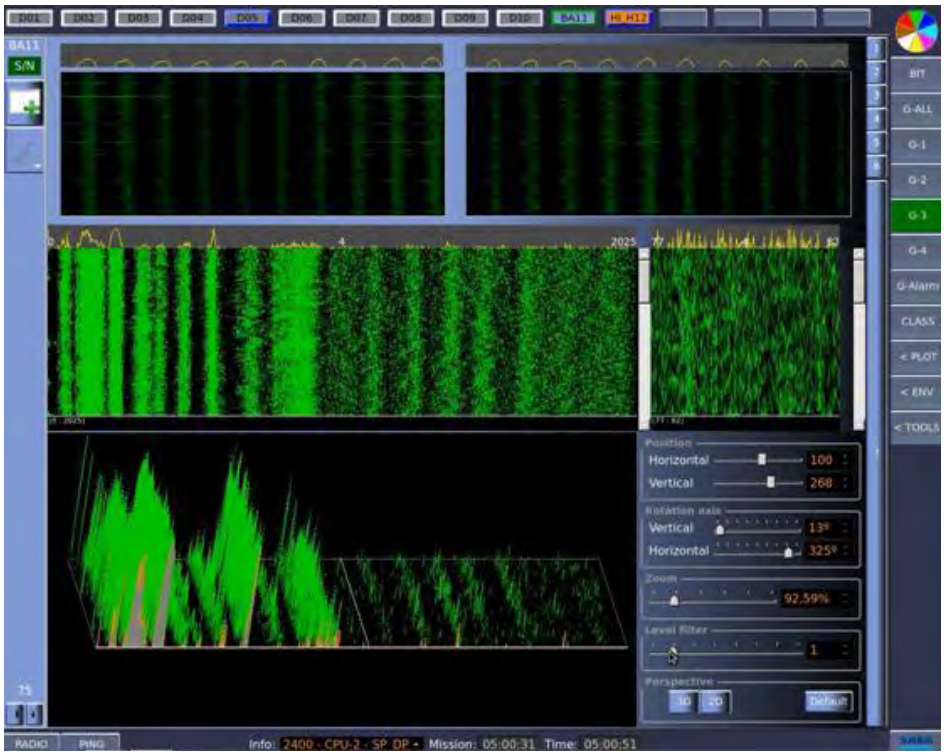
Debido a la naturaleza variable del mar, la propagación del sonido submarino está sujeta a numerosos y complejos fenómenos como la reflexión, dispersión y absorción. Estos fenómenos modifican los recorridos de propagación del sonido y los niveles de energía transmitidos. Para conseguir una predicción realista (información esencial en misiones de ASW), SPAS proporciona una herramienta fácil y amigable en la que puede reproducirse fielmente cualquier escenario. Esta herramienta de predicción incluye:

- Modelos de propagación validados para altas y bajas frecuencias (validados por el NURC)
- Base de datos de batimetría global
- Base de datos global de perfiles de velocidad de sonido
- Ruido ambiental basado en el estado del mar y en el tráfico de buques
- Cálculos de la predicción del funcionamiento basadas en el ruido y en las medidas de los perfiles de temperatura (o en bases de datos globales)
- Displays en 2D para configuración y análisis





Otra posibilidad del SPAS es la presentación en forma de LOFAGRAMA en 3-D:



El sistema SDL (Actualmente llamado ROASW) cubre los nuevos requisitos para la Guerra anti-submarina (ASW).

Este sistema ROASW está instalado y operativo en las corbetas tipo Visby de la Armada de Suecia. Parte del sistema SPAS, pero le añade funcionalidad.

El sistema ROASW es un sistema que comprende dos segmentos:

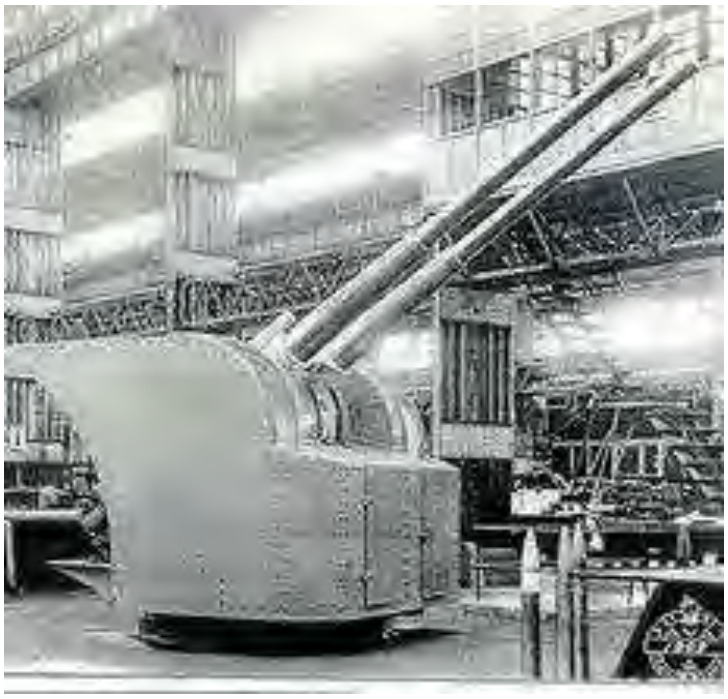
- Airborne Segment (ROASW-AS): instalado en vehículos tripulados o UAV's. Este sistema no requiere de un operador acústico dedicado ya que toda la información acústica y táctica es enviada a un sistema de superficie (ROASW-SS).
- Surface Segment (ROASW-SS): instalado en buques de combate con capacidad ASW o estaciones de superficie. El sistema ROASW-SS recibe la información acústica y táctica del sistema ROASW-AS, además, ROASW-SS opera de forma remota el sistema ROASW-AS.

Se ampliará información del ROASW en posteriores artículos.

El último vestigio de la Fábrica de San Carlos

Arturo Rivera
San Fernando
19 de abril de 2015

Antiguos trabajadores de la factoría emprenden una campaña para salvar la única muestra que queda de su pasado



Una de las piezas del montaje NG53, ya concluida, en San Carlos.

Más que de patrimonio es una cuestión de memoria. Un grupo de antiguos trabajadores de la desaparecida Fábrica de San Carlos (FSC) – auténticos veteranos y testigos del mejor pasado industrial de La Isla– ha emprendido una campaña para rescatar los cañones que languidecen en el solar que se extiende donde antes se levantaba la escuela de artillería y dirección de tiro de la Armada, Janer. Les preocupa su lamentable estado de conservación, que se ha acelerado tras la demolición del recinto que ahora está en manos de Zona Franca y donde se proyecta levantar un parque comercial y empresarial. Si nadie actúa –advierten– es más que probable que estas piezas se pierdan o terminen convertidas en simple chatarra. De hecho, lamentan, su degradación avanza inexorablemente a medida que pasan los días, como se aprecia incluso con un simple vistazo desde la autovía.

Las piezas –sobre todo una de ellas, el montaje doble que perteneció al destructor Oquendo– importan. Este grupo de antiguos operarios de FSC lleva semanas llamando a las puertas de los despachos para hacérselo ver a todo el que ha querido prestar oídos a su causa. Pretenden una solución, que necesariamente tiene que venir de los responsables políticos.

No se trata de que las piezas sean una maravilla técnica o de una joya industrial de la época –que también podría ser el caso– sino de una cuestión más emotiva: estos cañones, casi con toda probabilidad, son el último vestigio que queda de la extinta Fábrica de San Carlos, ejemplo y testimonio de la grandeza que alcanzó la factoría allá por la década de los 50 del siglo pasado, antes de que comenzara el progresivo declive que concluyó en 1999 con el peor final posible, su desaparición. Ése es su valor: que es lo único que queda de FSC. Y por ello insisten en la necesidad de intervenir para rescatarlo del olvido al que están sometidos estos cañones en el Janer. Hoy, la antigua escuela de artillería – donde las piezas estuvieron expuestas durante décadas, al caer en desuso– se ha

convertido también en un solar, exactamente igual que la antigua factoría de la que salieron hace más de medio siglo. Los antiguos operarios que vieron cómo se fabricaron estos cañones y que hoy intentan evitar su desaparición no se resisten a poner de manifiesto esta trágica coincidencia.

¿Y por qué rescatar estas piezas? No es simple nostalgia. Es algo más. «Detrás de esos cañones está la historia de la Fábrica de San Carlos. Y detrás de San Carlos está la historia de miles de trabajadores. Y detrás de ellos, la de miles de familias de La Isla durante 90 años de vida», argumentan. Es sencillo. Recuperar los cañones y exhibirlos en algún sitio no es sino rescatar y cumplir con la memoria histórica del San Fernando del siglo XX, con ese pasado industrial épico del que hoy apenas quedan los rescoldos.

Es cierto −recuerdan− que en una rotonda del polígono de Fadricas se conserva también un antiguo taladro industrial de grandes dimensiones que procedía de FSC. Pero aquello es diferente. Es una herramienta. Y los cañones −especialmente el montaje doble de artillería que se utilizó para los destructores del tipo Oquendo− constituyen todo un ejemplo de lo que la factoría era capaz de hacer en sus mejeros tiempos. El último ejemplo, además.

Para contar la historia de los cañones olvidados en el solar de Janer hay que remontarse a los años 50 del siglo XX. Un detallado informe elaborado por un ingeniero naval que colabora con este grupo de antiguos operarios de San Carlos explica cómo se llegaron a fabricar estas piezas en La Isla y da buena cuenta de su importancia industrial. Por entonces, resalta el documento, la Armada proyectaba construir en Ferrol una serie de ocho cañoneros tipo Pizarro de unas 1.710 toneladas de desplazamiento. Para su armamento se contaba con cañones de calibre 105 milímetros de origen alemán. Pero dada la situación de la industria germana tras la segunda Guerra Mundial resultó imposible.

Fue entonces cuando la Fábrica de San Carlos, de la Sociedad Española de Construcciones Naval, apareció en escena. Basándose en los cañones que artillaron los destructores de la serie Antequera, que habían salido todos de esta factoría, se estaba desarrollando un montaje doble del mismo calibre, aunque con un diseño totalmente distinto. El montaje, que se denominó NG48, se probó con éxito en el polígono de Torregorda y la Marina lo instaló en cada uno de los cañoneros de la serie a partir de 1953. En su construcción trabajó un equipo muy cualificado de jefes de taller, maestros, operadores de máquinas, ajustadores y montadores. Eran lo mejor de FSC.

Pero tuvieron una corta vida. La historia volvió a cambiar tras los acuerdos que se alcanzaron con los Estados Unidos para montar las direcciones de tiro MK37, lo que obligó − a partir de 1958− a desmontar toda la serie NG48 porque era incompatible con el sistema norteamericano. En FSC se desarrolló otro montaje −el NG53− que paradójicamente era inferior a su precedente en algunas de sus características (velocidad, grado de elevación...). Estas piezas fueron las que se instalaron a principios de los 60 en los tres destructores del tipo Oquendo que se estaban construyendo en Ferrol y que, luego, al quedar en desuso se trasladaron a la escuela de artillería de Janer. Eso explica la importancia que tiene también la pieza que se conserva en esta explanada para los antiguos trabajadores de la fábrica. Es su historia, la historia de la Fábrica de San Carlos. Su último vestigio.

Fotografía procedente del archivo de la factoría que muestra una serie completa de piezas ya terminadas.

La pieza de artillería que permanece en Janer, muy mal conservada.

INGENIEROS EN LA HISTORIA

FERNANDO CASADO DE TORRES E YRALA

Por Óscar Villalón

Casado de Torres ha sido definido como un vendaval innovador de finales del XVIII, tanto por que llegó a ser Comandante General del Cuerpo, como porque lo hizo con una carrera de marino alejado de las construcciones navales.

Nacido en Zafra en 1756, las primeras noticias sobre su vida le sitúan como pensionado por el ramo de guerra de Indias con 12.000 reales al año por los servicios prestados durante comisiones en el extranjero, (Rusia, Alemania, Suecia, Dinamarca, Holanda, Francia e Inglaterra), y por ser académico de la de ciencias de París y catedrático de matemáticas en dicha ciudad. Su carrera empezó cuando siendo Teniente de Navío en 1789 fue nombrado, sin examen, Ingeniero Ordinario.

En su primer destino en 1791, en la Carraca instaló la máquina de serrar activada por una bomba de doble inyección que había proyectado. Mejoró los edificios del arsenal y consolidó una playa artificial para defensa de las murallas de Cádiz. Sus conocimientos y carácter inquieto le llevaron a Asturias donde descubrió más de 80 minas de carbón, poniendo en marcha las Reales Minas de carbón de Langreo y diseñando hornos para reducir a cok el carbón de piedra.

Con el ascenso en 1793 a Ingeniero en Jefe y Capitán de Navío consiguió poner en marcha su proyecto de hacer navegable el Río Nalón que finalmente resultó un clamoroso fracaso porque, por efecto de unas fuertes riadas en 1801, quedaron destruidos canales, diques y chalanas.

En 1799 fue ascendido a Brigadier y comisionado para fijar los límites fronterizos con Francia, proyecto al que estuvo ligado durante muchos años de su vida. Al inicio de la Guerra de la Independencia estaba en el Puerto de Santa María trabajando en el levantamiento de planos del Guadalete cuando cayó prisionero de los franceses y fue trasladado a Madrid.

Diputado a Cortes por la provincia de Cuenca se presentó en Cádiz en 1812 donde fue juzgado por la Junta de Purificación de conductas políticas del Puerto de Santa María, que no solo le rehabilitó sino que en 1815 fue ascendido a Jefe de Escuadra.

De Comandante de Ingenieros de la Carraca pasó a la comisión de límites fronterizos hasta 1819. Por motivos de salud se retiró a Cuenca donde el 5 de junio de 1820 recibió su nombramiento de Comandante General interino del Cuerpo, aceptando el cargo pero mostrando su disconformidad porque siendo el General Decano del Cuerpo e Ingeniero Director más antiguo le correspondía el mando en propiedad. Por ello, el 6 de septiembre del mismo año, cuatro días después de su queja fue confirmado en el cargo. Su delicado estado de salud, empeorada por sus viajes a los pirineos, le sirvió de cobertura para presentar su dimisión, que fue aceptada, el 22 de marzo de 1822.

Ha pasado a la Historia como uno de los más teóricos y consumados matemáticos y científicos de los Ingenieros Generales. A pesar de que toda su vida profesional estuvo alejado de la profesión diseño dos fragatas de 50 cañones de a 24 *Lealtad* e *Iberia* (más tarde *Restauración*).

Constitucionalista, fue desterrado a Murcia entre 1823 y 1826 y encarcelado en el Arsenal de Cartagena de donde se fugó. Finalmente en 1826 obtuvo la cédula de purificación. Retirado de toda actividad murió en Murcia el 25 de febrero de 1829.