



BOLETÍN TÉCNICO DE INGENIERÍA



Diciembre 2018
Número 15



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE ARMAS NAVALES**

(ETSIAN-JEPER-DIENA)



MINISTERIO DE DEFENSA

Edita:



NIPO: 083-17-202-1 (edición en línea)

NIPO: 083-17-203-7 (impresión bajo demanda)

Los números editados se pueden consultar en formato electrónico en:

<https://publicaciones.defensa.gob.es/revistas.html>

App Revistas Defensa: disponible en tienda

Google Play (<http://play.google.com/store>) para dispositivos Android, y en AppStore para iPhones y iPads.

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.

Maquetación:

M^a José Pizarro García

Índice:

EDITORIAL	Pág. 3
SISTEMA HÍBRIDO NO TRIPULADO DE ALTA AUTONOMÍA BASADO EN PILAS DE COMBUSTIBLE «AUV SIROCO»	Pág. 4
VA. ING (R) D. ÁNGEL MARTÍNEZ MARTÍNEZ	
FIABILIDAD. RCM (Mantenimiento centrado en la Fiabilidad. ARM (Disponibilidad, Fiabilidad y Mantenibilidad). Misión de la Plataforma.	Pág. 13
CA (CIA) (R) D. MIGUEL ILLÁN RIVERA	
APLICACIÓN DEL LÍMITE ELÁSTICO DINÁMICO EN LA EJECUCIÓN DE CÁLCULOS DE CHOQUE A BORDO DE SUBMARINOS	Pág. 23
CF (CIA) DR. D. PEDRO ANTONIO CASAS ALCAIDE	
BUQUES AUTÓNOMOS: ¿Desparecerán los tripulantes de los barcos?	Pág. 34
CC (CIA) DR. D. RAÚL VILLA CARO	
QUÉ ES FILELESS MALWARE	Pág. 39
TN (CIA) D. MARIO GUERRA SOTO	
ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN DE LA DIFENILIMINA (DFA) Y CENTRALITA I. (C-I) CON TEMPERATURA/TIEMPO MEDIANTE HPLC	Pág. 43
DR. D. MANUEL LAGUNA IGLESIAS	
TN (CIA) D. JAVIER LÓPEZ MUÑOZ	
ESTUDIOS DE SIMULACIÓN Y DE CAMPO DE LA INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA BALÍSTICA DE ACERO TRATADO CON POLIUREA	Pág. 51
DR. D. MANUEL LAGUNA IGLESIAS	
TN (CIA) D. CARLOS DE ZAVALA DÍAZ	
COMTE (CIP) D. JULIO R. TORTOSA DEL CARPIO	
ESTUDIO CUALITATIVO DE LOS ESTABILIZANTES Y SUS POSIBLES ESTADOS DEGRADADOS DE PÓLVORAS DE USO CORRIENTE EN LA ARMADA	Pág. 56
DR. D. MANUEL LAGUNA IGLESIAS	
TN (CIA) D. MANUEL PÉREZ-PARDO BLANCO	
USO DE REDES NEURONALES COMO TÉCNICA DE CLASIFICACIÓN DE EVENTOS A BORDO SOBRE DATOS DE SICP	Pág. 62
AN (CIA) DR. D. FRANCISCO LAMAS LÓPEZ	
JORNADA TÉCNICA DE THALES ALENIA SPACE	Pág. 76
BIOGRAFÍA	Pág. 78
D. JOSÉ ROMERO FERNÁNDEZ DE LANDA	

Foto portada:

<<https://www.flickr.com/photos/armadamde/26184489649/in/album-72157656330834603/>>

EDITORIAL



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

Estimados amigos y compañeros:

Una vez más y fieles a nuestra cita ya tenemos el segundo BTI del año 2018. Ya hacemos el número 15. Esto parece que se consolida. Dentro poco ya seremos «mayores de edad».

En este número, debo agradecer personalmente la valiosísima colaboración de los Almirantes Ángel Martínez Martínez y Miguel Illán Rivera.

Igualmente, muchas gracias al resto de los autores por su esfuerzo y sus artículos que, como siempre, son de gran interés.

Con respecto a la verificación de las nuevas titulaciones, estamos esperando el informe de la ANECA. A ver si no se hace esperar y podemos arrancar el Máster IAN en septiembre del año que viene.

Con respecto al doctorado estamos redactando el documento de solicitud de verificación que esperamos, con suerte, finalizarlo para finales de este año.

Y ahora la noticia ¿triste? Esta es la última vez que me dirijo a vosotros a través de estas páginas. El próximo mes de enero tomará el mando de la ETSIAN el CF Francisco Javier Pérez Villalonga. Agradeceremos a todos la colaboración que habéis tenido en un momento u otro conmigo o con la Escuela. Os ruego que hagáis lo mismo con el Director entrante.

Ya sabéis que podéis encontrar el BTI tanto en intranet como en internet. Como siempre, si alguien no recibe el Boletín que lo comunique para subsanar el error. De la misma forma, se admiten sugerencias, críticas y demás. Estamos abiertos a todo.

Y nada más. Si no nos vemos antes, deseamos a todos unas Felices Fiestas en compañía de vuestra familia y amigos y que el año que viene os sea propicio en todo aquello afrontéis.

A la espera de vuestras noticias, un fuerte abrazo para todos.

SISTEMA HÍBRIDO NO TRIPULADO SUBMARINO DE ALTA AUTONOMÍA BASADO EN PILAS DE COMBUSTIBLE “AUV SIROCO”

VA. ING (R) D. ÁNGEL MARTÍNEZ MARTÍNEZ

Resumen.- El «AUV SIROCO» es un sistema naval formado por vehículos no tripulados submarinos de alta autonomía y altas prestaciones, que podrán trabajar simultáneamente y de forma colaborativa en todas las actividades que conforman las misiones MCM, ISR, SAR o Investigación Oceanográfica.

El sistema dispondrá de al menos dos vehículos submarinos híbridos, ligeros y fácilmente reconfigurables según la misión a desempeñar, con la posibilidad de integrar un patín en su plataforma para realizar maniobras robóticas asociadas a operaciones tales como la neutralización de minas u otras amenazas.

El vehículo se considera híbrido porque integrará en una única plataforma las capacidades propias de un vehículo no tripulado autónomo (AUV), y las de un vehículo remotamente operado (ROV), facilitando así la interoperabilidad entre las unidades submarinas y su multifuncionalidad.

Cada vehículo contará con un nuevo sistema de propulsión formado por módulos de generación de energía independiente del aire (AIP), basados en la integración de nuevas tecnologías disruptivas de generación integrada «*in situ*» y a demanda de oxígeno e hidrógeno y pilas de combustible tipo PEM de bajo coste y alta eficiencia, que le proporcionará una autonomía muy superior a la actualmente disponibles.

Esta Iniciativa Tecnológica, liderada por las dos PYMES españolas ROBDOS SRL y JALVASUB Engineering SL y en la que participan otras PYMES, Universidades y Centros de Investigación españoles, está recogida por la ETID 2015, dentro del Área de Actuación 3.- «Plataformas», en las Metas Tecnológicas MT-3.1.5 Almacenamiento de energía y MT-3.4.3 Vehículos no tripulados de ámbito naval. Asimismo, también está recogida dentro de las prioridades de la EDA para tecnologías duales: “XXII. AUTONOMÍA PERSISTENTE DE SISTEMAS MARÍTIMOS NO TRIPULADOS”.

1. Introducción

Durante los últimos 30 años hemos sido espectadores de los grandes cambios tecnológicos ofrecidos por la robótica de campo en todos los sectores, incluido el de la Defensa y la Seguridad. En el presente documento centraré la atención en las aportaciones que la robótica de campo y en concreto un sistema como el AUV SIROCO puede hacer a la operativa de la Armada y de otras Marinas.

Un sistema robótico como herramienta estratégica en el sector naval tiene la función de proveer al operador con la información necesaria, para de forma directa o a través del procesado de la misma, poder tomar decisiones estratégicas y efectuar actuaciones. Para ello el operador del sistema robótico utiliza como herramientas una serie de sensores y equipos de carga de pago, que son operados en el espacio designado para el desarrollo de la misión por medio de un vehículo o plataforma no tripulada.

Esta plataforma tiene que ser previamente programada por el operador mediante una serie de herramientas software que definen los principales aspectos de la misión (puntos de ruta, configuración de la carga de pago, procesamiento de datos, hitos o eventos,.. etc.). Así mismo la plataforma debe ser monitorizada en forma remota gracias a su capacidad de comunicación, mediante el correspondiente módulo software de monitorización y seguimiento, el cual permitirá mediante sus diferentes herramientas de evaluación determinar cuál es el estado de la misión y de la plataforma y tomar decisiones operativas críticas como el abandono o el cambio de misión.

Por lo tanto un aspecto clave de un sistema robótico es su capacidad de comunicación entre las plataformas desplegadas y la estación de mando y control, y la capacidad de evaluación y ejecución de acciones sobre las plataformas autónomas que integran el sistema. Además la capacidad y flexibilidad de integración por parte de la plataforma autónoma así como por parte de la estación de mando y control para operar distintos sensores y equipos de carga de pago, y las herramientas software facilitadas por los desarrolladores y fabricantes de estas cargas de pago son aspectos clave para la operatividad, adaptabilidad y actualización del sistema robótico.

El actual avance del estado del arte entorno a la robótica marina busca crear sistemas colaborativos, persistentes en el medio, y con gran autonomía, al mismo tiempo que innova en las capacidades singulares de cada plataforma mediante el desarrollo de nuevas cargas de pago y capacidades de procesamiento embarcado.

El sistema AUV SIROCO que se presenta en este artículo, cumplirá con los distintos requerimientos expuestos a lo largo de los anteriores párrafos, avanzando sobre el estado del arte mediante la adaptación de sistemas de producción de energía eléctrica bajo demanda (basados en tecnologías de pila de combustible), mediante el desarrollo de una tipología de plataforma no tripulada con una alta capacidad de adaptación a distintas configuraciones (tanto a nivel software como hardware), y mediante el desarrollo de un centro de mando y control capaz de operar e integrar plataformas y datos estratégicos de fuentes externas.

2. Sistema AUV SIROCO

El Sistema, cuyo concepto de operación se muestra a continuación en la Figura 1, se trata de un **sistema colaborativo multifuncional** de vehículos **híbridos (AUV/ROV)** no tripulados, submarinos con **alta autonomía y altas prestaciones**, con capacidad multimisión para adaptarse fácilmente a misiones tanto de tipo civil como militar.

El Sistema trabajará simultáneamente y de forma colaborativa, en todas las actividades que conforman una misión MCM (búsqueda, detección, identificación y neutralización de minas, munición química vertida al mar, municiones sin estallar, adquisición de parámetros ambientales necesarios,... etc.), una misión ISR (adquisición de inteligencia, vigilancia, reconocimiento y rápida evaluación del entorno), misiones SAR entorno a cualquier efectivo (aeronave, submarino o buque) siniestrado en el océano, o una misión de Investigación Oceanográfica.

Cada vehículo AUV SIROCO irá equipado con una propulsión eléctrica independiente del aire (AIP) basada en novedosas tecnologías del hidrógeno y pilas de combustible, mucho más eficiente, más compacto y de menor coste que los que actualmente se están desarrollando, y dotado con la **mayor persistencia posible en la mar**, que se denominará AIP HYCOGEN.

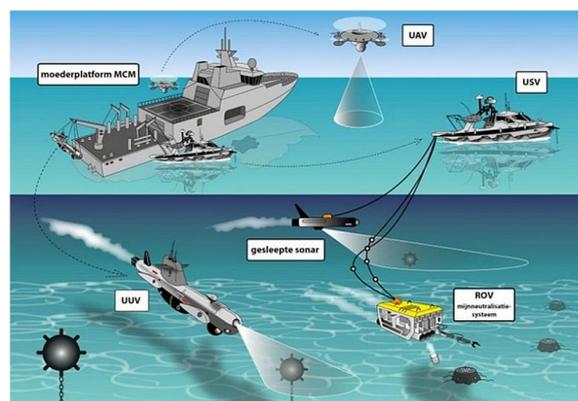


Figura. 1. Concepto de Operación del Sistema

A continuación, se detallan los componentes principales y capacidades del Sistema.

2.1. Vehículo AUV SIROCO

Consistirá en un vehículo submarino **híbrido** (con posibilidad de funcionar bien en modo remoto o en modo autónomo, denominados recientemente como Hybrid Underwater Robotic Vehicles «HURV»), ligero y fácilmente reconfigurable según la misión a desempeñar, y con posibilidad de integrar un patín en su plataforma para realizar maniobras robóticas asociadas a operaciones tales como la neutralización de minas u otras amenazas. Con ello, se facilita la disposición a bordo del buque nodriza de una plataforma para acometer con garantía todas las actividades asociadas a las distintas misiones, que gracias a su alta autonomía evita la cercanía del buque nodriza a la zona de amenaza y que mejora la persistencia de los vehículos en operación.

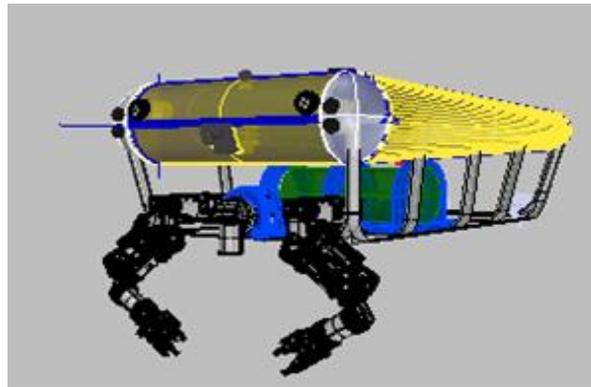


Figura 2. Vehículo AUV SIROCO con patín

Como principales cargas de pago para el desarrollo de las misiones asignadas a este innovador sistema será capaz de integrar equipos de dos tipologías diferentes:

- Las cargas de pago de tipología reconocimiento y caracterización, como por ejemplo sonar de apertura sintética, cámaras acústicas, hidrófonos, sondas oceanográficas tipo CTD, oxígeno disuelto y fluorometría.
- Las cargas de pago tipo actuación mecánica, como sondas de medición ultrasónica, brazos robóticos, herramientas de corte y en general herramientas de actuación mecánica submarina.

2.2. Otras plataformas integrables

Dada la concepción abierta del SW de mando y control utilizado, se facilita la integración en el sistema de otras posibles plataformas para realizar actividades con el resto de los vehículos de forma colaborativa. Entre ellas, podemos destacar la posible integración del vehículo híbrido existente H-AUV A-TEMPO. Se trata de un vehículo modular, propiedad del Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de La Coruña, y desarrollado por el equipo técnico que actualmente dispone ROBDO S.L. Con 1,4 m de eslora, 0,7 m de manga y 0,8 m de puntal, actualmente está propulsado eléctricamente con baterías de alta capacidad para su operación en modo AUV, pero tiene la posibilidad de montar en su patín un módulo AIP HYCOGEN que maximice su autonomía. Este vehículo está actualmente operativo, desempeñando operaciones relacionadas con la inspección y mantenimiento de instalaciones off-shore.



Figura 3. H-AUV ATEMPO

2.3. Propulsión AIP HYCOGEN

El vehículo estará equipado con un nuevo sistema de propulsión formado por módulos de generación de energía eléctrica independiente del aire (AIP), fácilmente desmontables e intercambiables, basados en la integración de nuevas tecnologías disruptivas de generación integrada «*in situ*» y a demanda de oxígeno e hidrógeno y pilas de combustible tipo PEM de bajo coste y alta eficiencia, que dotarán al vehículo de una autonomía objetivo superior a las 16 horas.

Conforme a los estudios llevados a cabo por la OTAN en el 2014 y cuyos resultados se incluyen en el informe «**STO TECHNICAL REPORT TR-SET-173-PART-II “FUEL CELLS AND OTHER EMERGING MANPORTABLE POWER TECHNOLOGIES FOR NATO WARFIGHTER – POWER SOURCES FOR UNMANNED APPLICATIONS (2014). CHAPTER 4 – UNMANNED UNDERWATER VEHICLES (UUVs)”**», las tecnologías más prometedoras, eficientes y seguras para su integración a bordo de vehículos no tripulados submarinos son:

- La generación de hidrógeno a partir de metales alcalinos, alcalino térreos (litio, sodio, magnesio, y sus aleaciones,.. etc.) que al reaccionar con el agua de forma exotérmica producen hidrógeno hidratado de alta pureza, y que evita los problemas técnicos, operativos y logísticos inherentes a un almacenamiento a alta presión o en forma líquida.
- La generación de oxígeno a partir de la reacción catalítica de una disolución industrial de peróxido de hidrógeno, que de forma exotérmica produce agua y oxígeno. Estos sistemas ya se están utilizando en sistemas aeronavales para la propulsión de cohetes y torpedos.

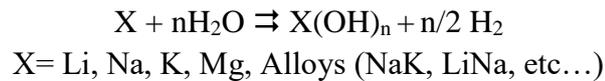
Adicionalmente, dos de las barreras tecnológicas que están dificultando el amplio uso de pilas de combustible en sistemas móviles compactos tales como los vehículos ligeros no tripulados submarinos, son:

- El necesario uso interno de catalizadores basados en metales nobles (platino).
- La configuración actual de apilamiento de las placas, que dificulta su compactación y reducción de pesos, y condiciona sus prestaciones eléctricas.

La propulsión AIP HYCOGEN que se describe, integra las tecnologías siguientes que dan solución a los problemas tecnológicos expuestos:

- Sistema de generación de hidrógeno a demanda e «*in situ*», basado en la tecnología patentada METALIQ, desarrollado y patentado por la PYME española Drage&Mate International, y que está basada en la reacción exotérmica de un reactivo (formado primariamente por mezclas de metales alcalinos y alcalino-térreos) con agua. El reactivo se integra en un cartucho desmontable y recargable por

misión, mientras que el agua para el proceso va almacenada en un depósito específico el cual también reutiliza la que se produce en el cátodo de la pila de combustible.



Los sistemas METALIQ se encuentran actualmente en un alto estado de madurez tecnológica para su integración en vehículos no tripulados aéreos (TRL 7), triplicando la capacidad energética de las actuales baterías de alta capacidad que se están utilizando.

- Sistema de pilas de combustible poliméricas de alta eficiencia y bajo coste, que denominaremos ULPHE-PEM (Ultra Low Platinum High Efficiency- PEM Fuel Cell), basado en las tecnologías patentadas por el Laboratorio de física de fluidos de la UNED, que incluyen:
 - Un novedoso proceso de fabricación y deposición del catalizador por electrospray, que reduce en más de 20 veces el platino a utilizar, con un menor coste de la pila.
 - Una novedosa configuración de apilamiento de celdas, que disminuye en más de 3 veces el peso y volumen de las pilas PEM actuales y mejora sus prestaciones.

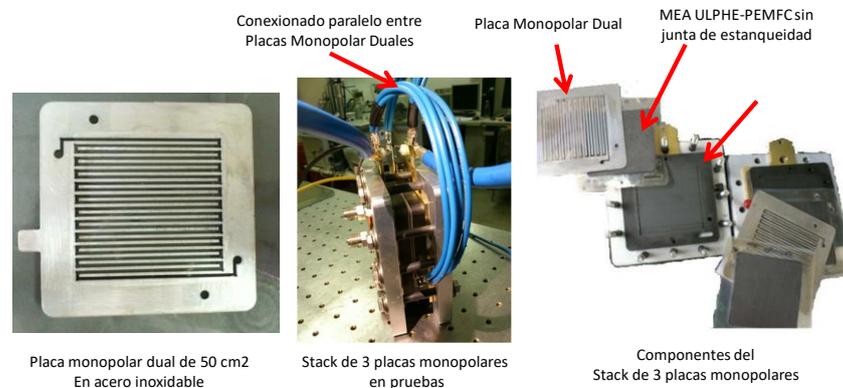


Figura 4. Placa monopolar dual y stack de pila ULPHE-PEM

Actualmente se dispone de un demostrador tecnológico de pilas ULPHE-PEM de suficiente tamaño, que ha sido ya evaluado en paralelo por instituciones de elevado prestigio, como el DLR alemán, quedando demostrada su modularidad, capacidad de crecimiento y prestaciones.

- Sistema de generación de oxígeno a demanda e «*in situ*» (que denominamos GENOX), basado en la reacción catalítica y exotérmica de disoluciones acuosas industriales de peróxido de hidrógeno (H_2O_2). El GENOX integra novedosas tecnologías catalíticas que actualmente se están desarrollando con el Grupo de Hidrógeno y Pilas de Combustible del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC.



Un esquema de funcionamiento del AIP HYCOGEN se muestra a continuación en la Figura 5.

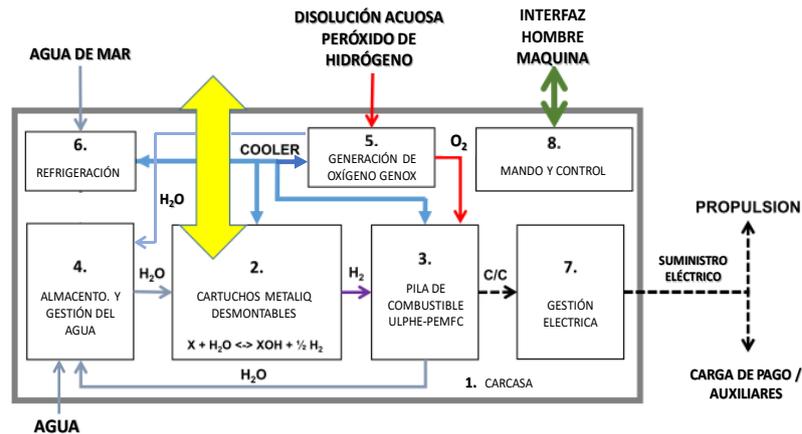


Figura 5. Esquema de bloques del AIP HYCOGEN

Gracias a la integración funcional entre los diferentes subsistemas que conforman el módulo AIP, se consigue maximizar la eficiencia del sistema, obteniendo una densidad energética en peso superior a los 650 W.h/Kg, que es más de 3 veces superior a las que actualmente se puede obtener con los sistemas de propulsión eléctrica basados en baterías de alta capacidad.

En la Figura 6 a continuación se incluye la distribución del módulo energético para un UAV, con una potencia de 1Kw (dos pilas de 500 W) y una energía almacenada en cartuchos recargables METALIQ de 12.000 W.h (dos cartuchos de 6.000 W.h), que proporcionaría una autonomía mínima de 12 horas.

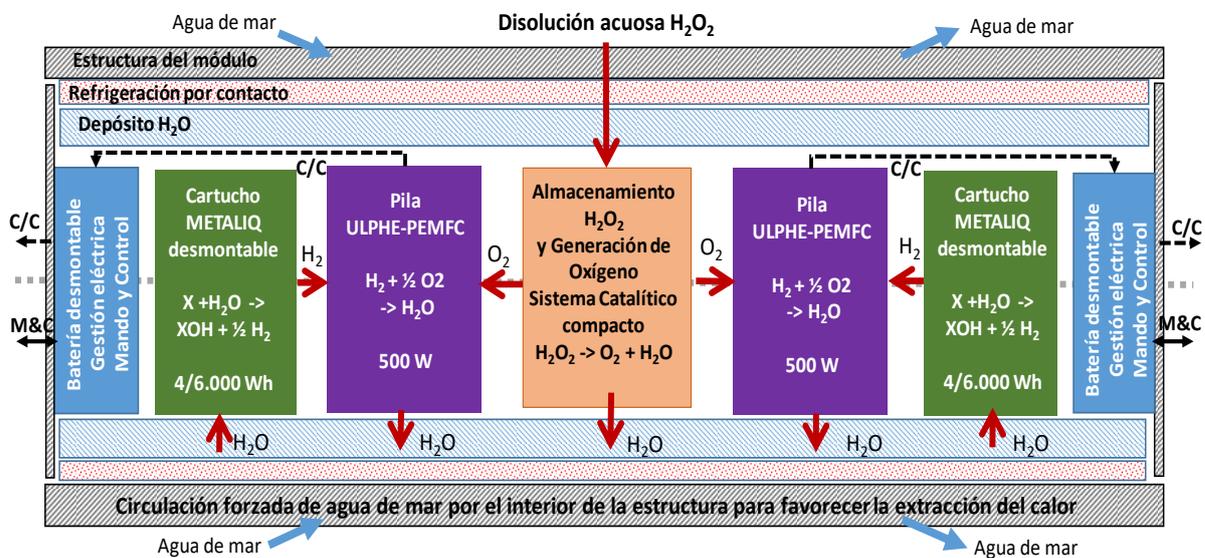


Figura 6. Módulo de generación de energía eléctrica AIP HYCOGEN

El sistema se completa con una batería recargable de Li-ión de alta capacidad «en tampón», para absorber picos y responder instantáneamente a demandas súbitas de potencia.

2.4. Mando y Control. Robótica colaborativa

A nivel software el sistema SIROCO basa su operación en una arquitectura de sistema completamente modular, jerárquicamente distribuida en capas, en función de la criticidad y grado de adaptabilidad. Esta arquitectura permite la alta modularidad operativa y de hardware de la plataforma y se refleja en un paquete software distribuido en dos partes, SW embarcado y SW de estación.

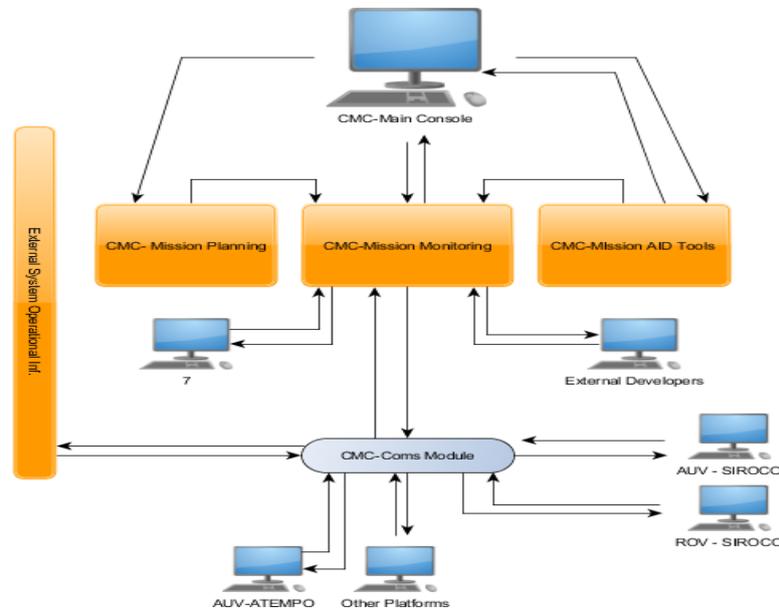


Figura 7. Diagrama de bloques Sistema Mando y Control

El SW de estación de mando y control incluye: las herramientas de tele-operación para modo ROV, herramientas de planificación de misión con sus distintos módulos en función de los sensores de carga de pago, herramientas de seguimiento de misión, herramientas de evaluación de la situación y replanificación de la misión tanto para un solo vehículo como para un enjambre.

El SW embarcado en la plataforma autónoma incluye: el firmware de control de la plataforma en sus distintas configuraciones HW (modo AUV y modo ROV), módulo software de comunicaciones, software de gestión de carga de pago, módulo de ejecución de misión, funciones avanzadas de navegación y control, y módulo de misiones cooperativas en enjambre.

2.5. Capacidades del Sistema

La capacidad de búsqueda, detección, recogida de datos, identificación y neutralización de amenazas, así como la de operación colaborativa de los vehículos, estará basada en las capacidades y experiencia desarrollados por la PYME española ROBIDOS SRL y el Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de la Coruña.

El sistema estará compuesto por una plataforma híbrida submarina de altas prestaciones (capaz de ser adaptada a un perfil operativo tipo AUV o ROV de forma directa y simple, mediante operaciones de mantenimiento sencillas y ágiles). Para la operación del sistema desde línea de costa o desde una embarcación nodriza, el sistema dispondrá de una estación de mando y control desde la cual se articularán las capacidades operacionales del sistema.

En su perfil AUV el sistema dispone de un perfil hidrodinámico de alta eficiencia, con tres grados de libertad (avance, guiñada e inmersión) con capacidad de mantenimiento de la posición o «*hover*», una profundidad de operación de al menos 500m y un sistema de propulsión AIP cuya generación energética está basada en el sistema HYCOGEN. Estos aspectos dotan al sistema de una autonomía superior a cualquier otro sistema similar presente en el mercado. En este modo de operación el sistema desarrollará misiones de caracterización y estudio de grandes superficies de océano; el software embarcado permitirá desarrollar estas misiones de forma versátil mediante funciones avanzadas de navegación, como por ejemplo el mantenimiento de distancia a la superficie o al lecho marino.

También en este modo de operación contará con un módulo de comunicaciones con cuatro capacidades en función de la distancia y demanda del operador.

En una primera aproximación, el operador del sistema puede programar la plataforma para realizar la misión en un entorno de extensión y profundidad limitada, para poder monitorizar la plataforma mediante conexión directa de un umbilical de comunicaciones en F.O o mediante un sistema de boya de comunicaciones WiFi bridge, o WiFi punto a punto, que es conectada y remolcada por la plataforma autónoma.

En una segunda aproximación, el operador puede operar sin el umbilical y apoyarse para la monitorización de la plataforma autónoma en comunicaciones acústicas, aunque presente capacidades limitadas de monitorización y actuación (capacidad de recibir un vector de estado, y de ejecutar un comando pre-programado en el S.W embarcado).

En una tercera aproximación, se podrá actuar de forma completamente autónoma, sin monitorización desde la estación de mando y control. En este modo solo se comunica información con la estación al inicio de la misión y en los momentos de emersión. Para ejercer estas comunicaciones se integrará un módulo de comunicaciones WiFi bridge, o WiFi punto a punto (en caso de encontrarse en rango), o un módulo de comunicaciones satélite (cuando no esté en rango de link WiFi).

A nivel de seguridad pasiva, debe destacarse que el vehículo contará con flotación positiva y con una baliza de radio y luz, que permite su localización y recuperación ante un potencial *black out* de la plataforma autónoma.

En su **perfil ROV** el sistema SIROCO presenta la capacidad de montar un patín inferior para la disposición de sensores y equipos que apoyen y ejecuten labores de actuación mecánica. En este perfil operativo, la plataforma autónoma también puede disponer en este patín de propulsores extra que la doten de una mayor maniobrabilidad como, por ejemplo, poder compensar desplazamientos laterales debidos a corrientes marinas, o compensar o producir cabeceo bajo demanda del operador. En este modo de operación se podrá disponer de ayudas avanzadas a la tele-operación, como funciones de *auto-heading*, compensación de *roll* o balance, y funciones de mantenimiento de distancia a la superficie y lecho marino o a elementos estructurales continuos sumergidos.

Para ejecutar misiones en este modo de operación el vehículo estará dotado de un cable umbilical de datos y potencia, que permitirá alimentar elevadas demandas de energía a herramientas de actuación mecánica, al mismo tiempo que se ejecuta la monitorización y tele-operación del sistema.

El cambio o adaptación de un perfil AUV a un perfil ROV del sistema SIROCO se realizará a nivel hardware mediante operaciones simples de mantenimiento y actualización que se acometerán por parte del operador. A nivel software se deberá realizar una selección o cambio de modo de control en función de las herramientas, sensores y propulsores, añadidos al patín inferior.

3. Aplicaciones militares del Sistema AUV

A la vista de lo expuesto se considera, que los principales beneficiarios de los sistemas AUV SIROCO en el ámbito de la Seguridad y Defensa deberían ser las unidades que desempeñan, entre otras, las operaciones de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (ISR), Medidas Contraminas (MCM), guerra antisubmarina (ASW), Salvamento y Rescate (SAR), Investigación Oceanográfica y Arqueología submarina.

4. Conclusiones

El sistema descrito en este artículo supone una nueva concepción de sistema de vehículos no tripulados submarinos, cuyas principales ventajas son la **versatilidad, la capacidad de colaboración y la alta persistencia en la mar**. Gracias a ello, son sistemas:

- ✓ Que pueden operarse alejados de costa o de su buque nodriza, minimizando así, en este último caso, su exposición a la amenaza.
- ✓ Fácilmente reconfigurables en función de la actividad a llevar a cabo dentro de una misión, evitándose así la profusión a bordo de diferentes vehículos únicamente especializados en una actividad y difícilmente integrables para una acción colaborativa.

5. Referencias bibliográficas

1. Lopez Peña, F. Universidad de La Coruña; Ramos H. Ixion Industry&Aerospace, Madrid. «A hybrid ROV/UAV vehicle for underwater inspection and maintenance of offshore structures».
2. Dirección General de Armamento y Material. Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación. *Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID-2015*.
3. Barreras F, Lozano A, LITEC, CSIC- Universidad de Zaragoza. «Hidrógeno. Pilas de Combustible de Tipo PEM».
4. Drage & Mate International -CONAMA 2014 «Tecnología Química para Sistemas Avanzados de Propulsión y Almacenamiento de Energía usando Hidrógeno» <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/TFs%202014/1998969712_ppt_AGarrido.pdf>
5. A. Mendez , T. J. Leo and M. A. Herreros; Current State of Technology of Fuel Cell Power Systems for Autonomous Underwater Vehicles, *Energies* 2014, 7, 4676-4693
6. <https://www.youtube.com/watch?v=H2_deLrGueM> «JALVASUB Engineering. Sistemas HYCOGEN».

FIABILIDAD
RCM (Mantenimiento centrado en la Fiabilidad)
ARM (Disponibilidad, Fiabilidad y Mantenibilidad)
Misión de la Plataforma

CA (CIA) (R) D. MIGUEL ILLÁN RIVERA
Doctor Ingeniero Armas Navales
Bussines Manager. ALTEN
Contacto: www.alten.com

1. Introducción

Es sabido la fundamental importancia de la fiabilidad de los complicados sistemas y equipos actuales. Durante la Segunda Guerra Mundial, el concepto «fiabilidad» adquirió importancia, pero fue en los años 50, en la guerra de Corea cuando se provocó una grave preocupación en el Departamento de Defensa americano en lo referente al equipo electrónico militar. Los fallos de dicho equipo, aparte de significar una pérdida de efectividad, constituían un quebranto económico enorme. Se calculó que un dólar de equipo electrónico adquirido entrañaba dos dólares anuales de mantenimiento.

En los años cincuenta se realizan en los Estados Unidos numerosos estudios de fiabilidad. Las compras de equipo electrónico por las Fuerzas Armadas fueron sujetas a especificaciones de fiabilidad. Una de las primeras fue la MIL-R-25717 (USAF) de fecha 11-1-1957. Para misiles apareció el AFBM Exhibit 58-10 de fecha 1-6-1959 y para los aviones tripulados la MIL-R-26674 (USAF) de fecha 18-6-1959. Estas especificaciones, sustituidas en 1961 por la MIL-R-27542 y en 1965 por la norma MIL-STD-785, marcaban los requisitos a que debían ajustarse los programas de fiabilidad en los contratos de sistemas y equipos.

El efecto de exigir contractualmente al proveedor una serie de requisitos de fiabilidad se hizo patente en la mejora del producto. Por ejemplo, el equipo de navegación TACAN AN/ARN-21 fue adquirido para los aviones militares americanos sin especificación de fiabilidad en sus modelos A y B. El tiempo medio entre fallos de estos modelos era de 17,5 horas. Para la adquisición del modelo C, se especificó que el tiempo medio entre fallos no debería ser inferior a 150 horas. Con este requisito, la USAF se ahorró 118,5 millones de dólares anuales de apoyo logístico (para 16000 equipos).

Este importante movimiento de los años cincuenta dio lugar a los primeros compendios de datos de tasas de fallo para la predicción de la fiabilidad en equipos electrónicos. Las empresas electrónicas y aeroespaciales redactaron sus manuales de fiabilidad para uso de sus ingenieros (Motorola, 1955; Boeing, 1957; etc.). Comienzan a celebrarse simposios anuales patrocinados por diversas asociaciones profesionales y organismos oficiales.

Los primeros libros sobre fiabilidad datan de los primeros años sesenta (Chorafas, 1960; Bazovsky, 1961; Lloyd y Lipow, 1962; Calabro, 1962; etc.). Durante los años cincuenta, la fiabilidad fue casi exclusivamente norteamericana, electrónica, aeroespacial y militar. En los años sesenta ha ido extendiéndose a otras geografías y tecnologías.

Se empiezan a aplicar métodos estadísticos para la medición cuantitativa de la fiabilidad, asociada a una probabilidad mediante el álgebra probabilística y la simulación matemática.

Se precisa construir las bases estadísticas que permiten construir modelos matemáticos para el estudio de la fiabilidad de componentes y sistemas, es decir: llegar a una ecuación o un sistema de ecuaciones que refleje satisfactoriamente el fenómeno que se estudia. Hoy, la fiabilidad es parámetro de diseño al que se concede justificadamente la máxima importancia por la inevitable probabilidad de fallo de componentes y sistemas.

2. Concepto de fiabilidad

Los Estados Unidos han realizado muchos vuelos espaciales tripulados que se consideraron muy satisfactorios aunque no todos los elementos del equipo funcionasen a la perfección. Si se quiere que la medida de la fiabilidad tenga significado es preciso definir debidamente lo que se entiende por actuación satisfactoria. Durante una misión pueden permitirse determinados fallos de equipos así como algún tiempo inoperativo de un sistema sin que por ello aborte la misión.

Los equipos se diseñan para funcionar de una manera determinada bajo particulares conjuntos de condiciones. Entre éstas están las condiciones ambientales (temperatura, presión, humedad, aceleración, vibración, ruido acústico, etc.) y las condiciones operativas (tensión e intensidad eléctrica, par mecánico, atmósfera corrosiva, choque, etc.). Si el equipo falla o se degrada excesivamente al utilizarlo en las condiciones previstas, será un caso insatisfactorio, pero si se le somete a esfuerzos superiores a aquellos para los que fue diseñado, los fallos o la degradación pueden no ser medidas razonables de «infiabilidad».

La importancia de obtener sistemas y componentes muy fiables se ha visto clara en los últimos años. Desde un punto de vista puramente económico es deseable una alta fiabilidad para reducir los costos totales.

El fallo de una pieza o componente no sólo da lugar a la pérdida del dispositivo fallado sino que con muchísima frecuencia produce también la pérdida de algún conjunto o sistema mayor del cual forma parte. La vieja historia de la pérdida de un clavo de herradura es aplicable a la realidad.

“Por culpa de un clavo, se pierde la herradura,

Por culpa de la herradura se pierde el caballo,

Por culpa del caballo, se pierde el jinete,

Por culpa del jinete, se pierde el mensaje,

Por culpa del mensaje, se pierde la batalla,

Por culpa de la batalla, se pierde el Reino”.

Pequeños fallos de las condiciones iniciales pueden provocar gigantescas transformaciones dinámicas, que pueden concluir con el fallo catastrófico y la pérdida del sistema.

3. Áreas de actividad de la fiabilidad

Durante los años sesenta se dio mucho ímpetu al crecimiento, reconocimiento y definición de la función de fiabilidad. La fiabilidad se ha convertido en una disciplina reconocida de ingeniería, con sus propios métodos, procedimientos y técnicas.

Durante el proceso de crecimiento aparecieron tres principales áreas técnicas de fiabilidad: (1) ingeniería de fiabilidad, comprendiendo el análisis de fiabilidad de sistemas, la revisión de diseños y tareas anejas; (2) análisis de operaciones y ciclo de vida, que incluye la investigación de fallos y la acción preventiva y correctiva; y (3) matemáticas de la fiabilidad. Las funciones de fiabilidad están frecuentemente organizadas en estas tres divisiones.

La fiabilidad es una de las características del rendimiento de un sistema que se trata analíticamente en el proceso de diseño. La precisión en la evaluación de la fiabilidad de un diseño depende del conocimiento que se tenga del proceso de los fallos del sistema.

Por tanto, la fiabilidad es un factor central para determinar el coste del ciclo de vida de un producto.

La mayoría de los estudios de fiabilidad y de los métodos desarrollados se centran en el diseño de los productos.

4. Causas de la in fiabilidad

Hay cierto número de razones por las que los equipos y sistemas pueden ser in fiables. Estas razones pueden ser desde errores en el concepto original hasta equivocaciones operativas, pudiendo comprender tanto deficiencias del mismo equipo como discrepancias en su aplicación y uso.

5. Fallos y sus clases

Se llama fallo a la incapacidad de un dispositivo para realizar su función dentro de unos límites definidos de actuación.

6. Definición de fiabilidad

En sentido coloquial decimos que una persona es fiable cuando cumple sus compromisos. Nosotros daremos más precisión y cuantificaremos el concepto de fiabilidad y diremos que, la fiabilidad es la integral entre t e ∞ de $f(x) dx$.

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(x) dx$$

Siendo $f(x)$ la función de densidad de la variable aleatoria «tiempo hasta el fallo», quedando definida la fiabilidad como “la probabilidad de que un dispositivo funciones satisfactoriamente durante un tiempo dado, siempre que dicho dispositivo se emplee en condiciones definidas”.

7. Fiabilidad de sistemas

7.1. Introducción

Un sistema está compuesto por un conjunto de dispositivos estructurado según una determinada configuración.

Los modelos matemáticos asociados a las distribuciones de fallo tratan de describir el comportamiento de elementos o dispositivos de forma individual. A la hora de considerar un sistema, se plantea la tarea de construir un modelo capaz de prever todos los modos de fallo posibles.

Para poder aplicar uno de estos modelos, hemos de conocer las probabilidades de fallo de cada bloque. Podemos definir la redundancia como la existencia de más de un medio para realizar una función dada, de forma que en el modelo de bloques, el fallo de uno de los bloques redundantes no produce el fallo del sistema, ya que existen otros dispositivos (o bloques) que realizan esa función.

7.2. Sistemas serie

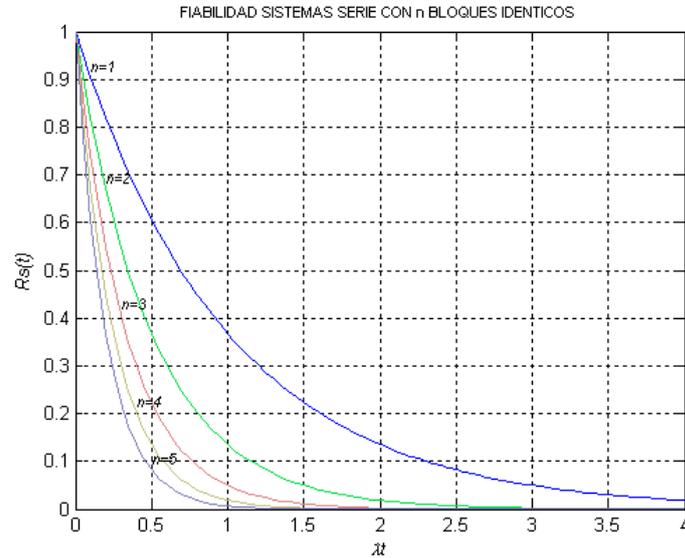
En un sistema en serie, el fallo de cualquiera de los bloques implica el fallo del sistema, es decir, todas las funciones son críticas y no existe redundancia entre éstas. El diagrama de bloques es el que mostramos a continuación:



En términos de fiabilidades, podemos decir que la fiabilidad del sistema en serie $R_s(t)$ es el producto de fiabilidades de cada bloque (Regla del producto de fiabilidades o de Lusser):

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

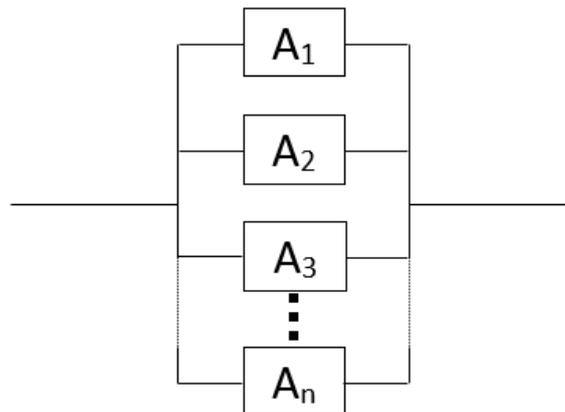
La fiabilidad del sistema con bloques exponenciales en serie se representa en la siguiente figura. Se ve que cuantos más dispositivos en serie tenga el sistema más baja es la fiabilidad.



Fiabilidad sistema con bloques exponenciales en serie

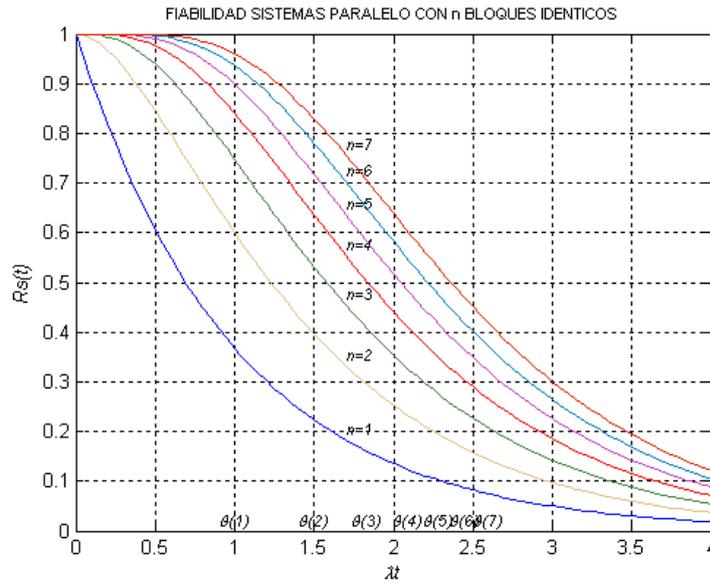
7.3. Sistemas paralelo

En un sistema en paralelo, el fallo del sistema sólo se produce si fallan todos los dispositivos, existe pues, una redundancia activa total. El diagrama de bloques es el que mostramos a continuación:



$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)]$$

Comprobamos cómo conforme se añaden bloques en paralelo al sistema, la fiabilidad y la vida media del mismo va incrementándose. De esta forma, desde el punto de vista de la Ingeniería, deberemos adoptar una solución de compromiso entre la vida media que se requiera, y el coste adicional que supone colocar un nuevo dispositivo en paralelo para aumentar ésta.



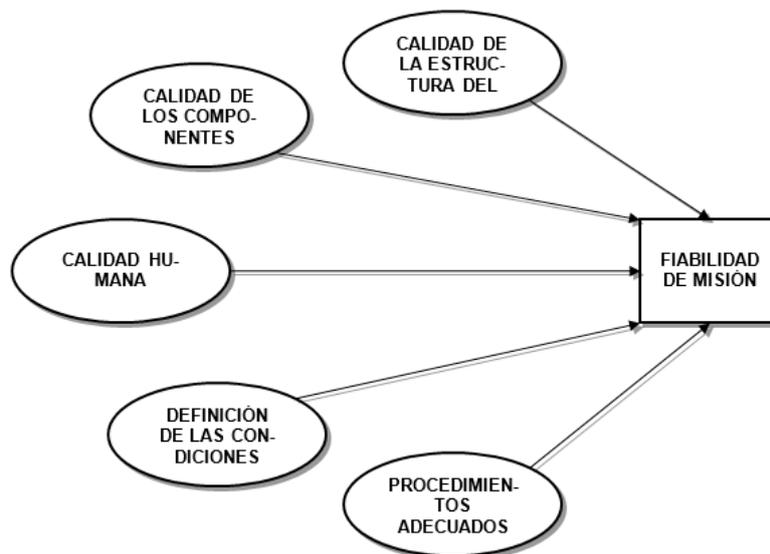
Fiabilidad en sistemas de bloques idénticos en paralelo

En general, cualquier sistema podrá estructurarse como combinaciones de series y paralelos.

Podemos mejorar la fiabilidad de un sistema agregando elementos redundantes para la misma función.

Hemos hablado de la fiabilidad de dispositivos y de sistemas. Un buque es un conjunto de sistemas según una determinada configuración estructural. La fiabilidad de los dispositivos y de los sistemas permitirá calcular la fiabilidad del buque para cumplir su misión.

No hemos de olvidar la fiabilidad humana y de procedimientos que acompañan el diseño, la construcción y la utilización del buque en su ciclo operativo. Por lo tanto, hemos de basar en la fiabilidad el diseño del buque y hemos de basar en la fiabilidad el mantenimiento del buque durante su vida operativa.



7.4. Fiabilidad en la fase de diseño

Un mejor diseño de los productos implica unas vidas funcionales más seguras y más largas.

Los métodos modernos de diseño están basados generalmente en descripciones científicas y sobre todo matemáticas de los requerimientos y del rendimiento.

Se llama fiabilidad inherente de un diseño a la determinada por los componentes, la relación funcional que los liga y los procesos de fabricación y montaje especificados en dicho diseño. Este valor límite de fiabilidad se degrada por imperfecciones físicas y humanas durante los procesos de fabricación, ensayo, control, montaje y condiciones reales de uso. Ante la incertidumbre cuantitativa de la degradación se debe diseñar para obtener una fiabilidad inherente prudencialmente superior a la fiabilidad operativa deseada. La fiabilidad inherente de diseño se puede mejorar:

- Reduciendo en lo posible el número de bloques en serie.
- Adoptar componentes más fiables.
- Aplicar redundancias.

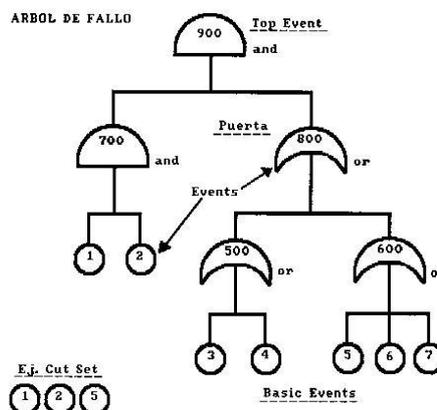
En la fase de definición del diseño es necesario, en general, comparar varias soluciones opcionales en cuanto a sus parámetros de mérito y, entre otros, su fiabilidad. En esta fase no se dispone de mucha información, porque no existe un diseño detallado, no se han definido probablemente los tipos exactos de componentes a emplear ni su configuración, ni se han realizado los estudios que nos darán a conocer luego con más precisión los esfuerzos funcionales y ambientales. Por ello, los métodos de predicción rápida de la fiabilidad para comprobar la factibilidad de un diseño, han de basarse en datos y consideraciones de tipo general a partir del «estado del arte» en el momento en que se recopilaban los datos.

La predicción de fiabilidad comienza con la hipótesis de que la fiabilidad de los componentes determina la fiabilidad del sistema.

Para conseguir la fiabilidad requerida a un sistema hay que estudiar el reparto de metas de fiabilidad a cada una de las unidades que componen el sistema.

La asignación de metas no implica que la fiabilidad requerida pueda alcanzarse. Solo fija unos requisitos parciales que, si se cumplen, implican el cumplimiento del requisito fijado para el sistema.

El reparto de fiabilidad fija unas metas que deberán intentar alcanzar los diseñadores propios o los contratistas. En el caso de estos últimos figurarán en las especificaciones de contrato. Las metas de fiabilidad son cuantitativas y permiten medir el progreso hacia la meta total de fiabilidad del sistema. Ahora bien, a medida que avanza el proyecto se va disponiendo de más información, por lo que es necesario poner al día de forma continua el reparto de fiabilidad, modificando cuando sea necesario los requisitos para las diversas unidades de diseño.



Árbol de fallos y metas de fiabilidad

Supongamos que el árbol de la figura representa una Unidad constituida por una combinación serie-paralelo y queremos especificar la fiabilidad de diseño de dicha Unidad.

Para una fiabilidad exigida al sistema podemos ver el reparto de fiabilidad de los componentes y así poder modificar y mejorar la fiabilidad de aquellos cuya influencia es mayor en el sistema o cuyos fallos afectan más a la operatividad o a la seguridad del buque o la dotación.

Una técnica fundamental en la fase de diseño es el FMECA (Análisis de la Criticidad de los Modos de Fallo y sus Efectos). Es una técnica cualitativa asociada a la predicción de la fiabilidad y un medio utilísimo para saber cómo mejorar la fiabilidad de un diseño. Consiste en la identificación y tabulación de los modos de fallo del sistema, la descripción de sus efectos y la evaluación de su importancia (carácter más o menos crítico o severo). De esta forma se consigue, desde el diseño inicial, determinar los posibles modos de fallo y sus efectos sobre el éxito de la misión o la seguridad del buque o la dotación, permitiendo revisar el diseño y mejorarlo si procede, para reducir la probabilidad de ocurrencia de los modos de fallo críticos, bien mejorando las calidades de los componentes, bien mejorando la estructura del sistema haciéndolo más fiable.

Comprobación del cumplimiento de una especificación

Suponemos un efecto en la plataforma que implica el abandono de misión, al que especificamos una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-5} y que clasificamos como tipo II CRÍTICO. Calculamos la probabilidad de ocurrencia que tiene este efecto a partir de la configuración del sistema, sea este valor $1,2 \cdot 10^{-5}$. Como este valor es superior al admitido (10^{-5}) se concluye que las calidades y la configuración del sistema no cumplen con la especificación operativa, teniendo que mejorarse el diseño del sistema.



Cálculo de la fiabilidad de misión

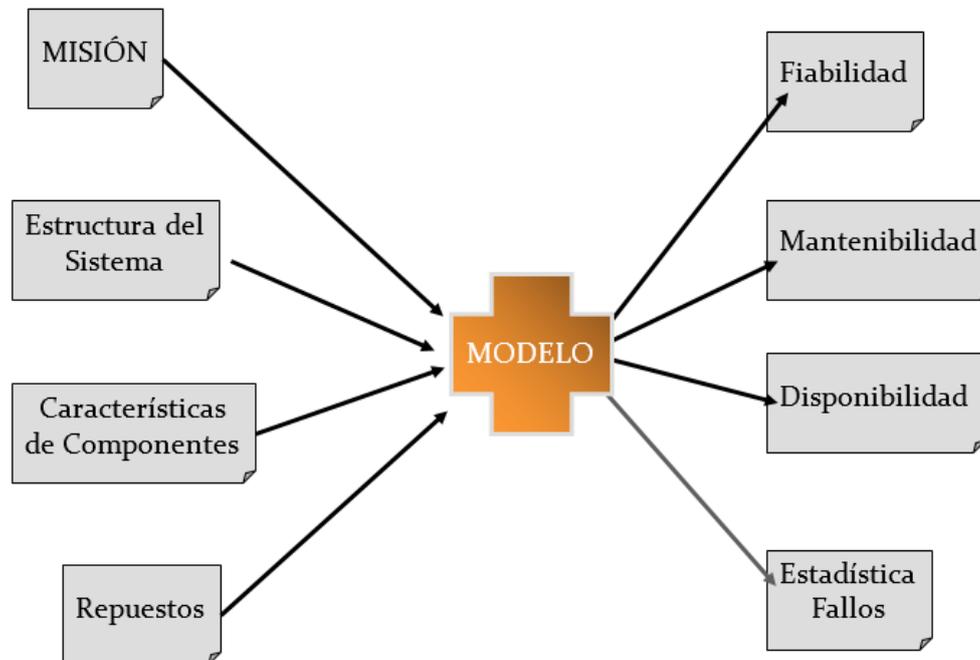
El árbol de fallos y la comprobación de una meta de fiabilidad especificada, vista anteriormente, son modelos que utilizan el álgebra probabilística.

Para situaciones más complejas es recomendable la simulación matemática.

Esto ocurre en el caso del cálculo de la fiabilidad de misión, en que la plataforma pasa por distintas fases en el tiempo, cada una con su configuración específica (patrulla, tránsito, puerto, etc.).

Para la fiabilidad de misión se parte de la estructura del sistema y de las características de los componentes en cada fase. La simulación matemática permite obtener el informe de fiabilidad y la aportación al fallo de los distintos componentes.

El modelo de simulación queda representado esquemáticamente en la siguiente figura:



7.5. La fiabilidad en el mantenimiento

Ya hemos visto que en la etapa de diseño el mantenimiento requiere una atención importante. Es preciso evaluar lo que el mantenimiento del equipo o sistema va a representar en términos de inmovilizaciones, mano de obra, costes y repuestos.

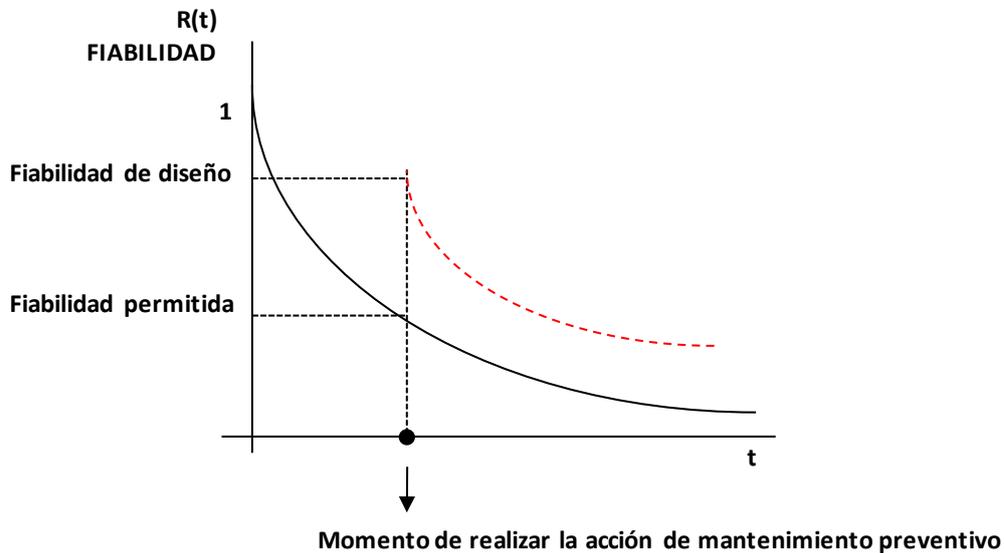
La planificación del mantenimiento preventivo durante el diseño hace que la ley de fallos de los componentes quede influida por ella, así como la predicción de necesidades de repuestos durante la vida operativa de los sistemas. La documentación de los equipos que era incompleta durante la fase de diseño queda completada con la entrada en servicio y el funcionamiento real operativo de los equipos y sistemas, permitiendo una revisión y actualización de la política de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento centrado en la fiabilidad parte del análisis FMECA realizado en la fase de diseño o realizado durante el ciclo de vida si no se había hecho con anterioridad.

De cada modo de fallo de los componentes del sistema se estudia su efecto a tres niveles: equipo, sistema, buque. El efecto sobre el buque queda clasificado según su criticidad (severidad): catastrófico, crítico, marginal, despreciable. Seguidamente se ve la frecuencia con la que puede ocurrir el fallo (probabilidad de ocurrencia del fallo), bien por conocimiento del MTBF (tiempo medio entre fallos) o por experiencia durante la vida operativa. Esta frecuencia puede variar entre «muy frecuente» o «remoto».

A continuación, realizamos el producto de la frecuencia del fallo y su efecto para calcular el riesgo para el buque de ese modo de fallo, que puede ser alto, severo, medio o bajo. Cuanto mayor es el riesgo más atención debemos prestar a ese modo de fallo.

Se pretende realizar las acciones de mantenimiento preventivo transcurrido un tiempo tal que la fiabilidad de diseño del componente se haya degradado hasta un determinado valor que se considera admisible en función del riesgo que el fallo implica al sistema.



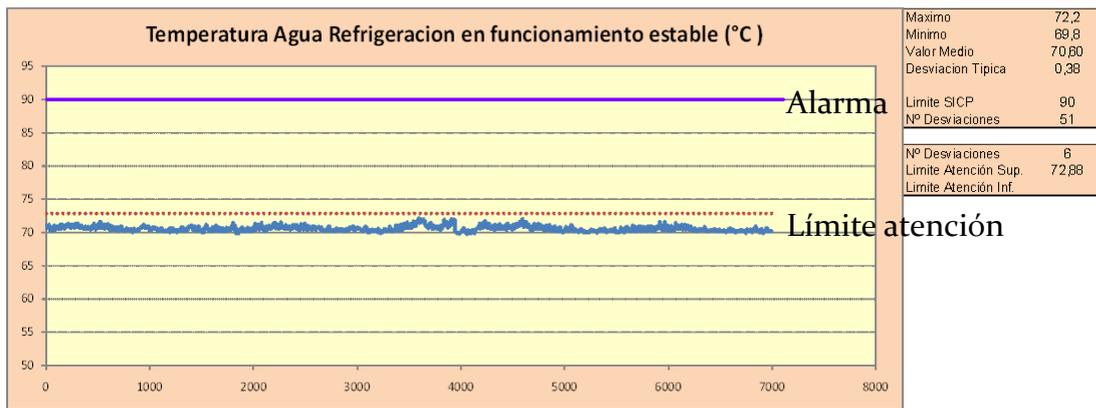
Periódicamente y a esos intervalos de tiempo se va restableciendo la fiabilidad del componente a valores próximos a su fiabilidad de diseño.

Todas las tareas de mantenimiento preventivo quedan fijadas a su correspondiente periodicidad para ser realizadas en los periodos de inmovilización del buque a lo largo del ciclo de vida, o bien, para establecer períodos de inmovilización distintos a los previamente definidos.

En cualquier caso, el objetivo es establecer una política de mantenimiento preventivo que asegure una fiabilidad en los equipos acorde con el riesgo que cada modo de fallo implique, manteniendo la tasa de fallos lo más reducida posible. Se da prioridad al mantenimiento según condición intentando detectar el momento del fallo potencial (degradación observable de la fiabilidad) para intervenir preventivamente antes de que ocurra el fallo funcional.

Ejemplo de dispositivos monitorizados

Establecemos un «límite de atención», que al ser superado por la variable aleatoria monitorizada será indicación de un fallo potencial, y por tanto el componente monitorizado debe reacondicionarse.



Todas las tareas de mantenimiento, según condición y preventivo, quedan asociadas a su correspondiente modo de fallo (incluidas las tareas del fabricante), y tienen asignadas una fiabilidad, y serán tareas PMS o ICMP de inspección, de análisis, de reemplazo o de rehabilitación.

Tanto en la fase de diseño como en la fase de mantenimiento hay que realizar el estudio del stock óptimo de repuestos basado en la fiabilidad, tanto a bordo como en tierra, que con la confianza suficiente podamos disponer del repuesto al ser requerido por su correspondiente acción de mantenimiento.

8. Referencias bibliográficas

1. DIC-8951-0010-001-R00C01. Mantenimiento Basado en la Fiabilidad en la Armada.
2. DIC-8951-0010-002-R00C01. Desarrollo y Proceso de Aplicación del RCM en la Armada.
3. MIL-STD-1629A. FMEA/FMECA. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.
4. MIL-STD-1635. Reliability Growth Testing.
5. MIL-STD-2173. (AS). Handbook for Reliability-Centered Maintenance Requirement for Naval Aircraft, Weapons Systems and support equipment.
6. MIL-PRF-49506- Logistic Management Information.
7. MIL-HDBK-472MTTR- Maintainability & Prediction.
8. SAE JA1011 Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Process.
9. SAE JA1012 A Guide to the Reliability-Centered Maintenance Standard.
10. MIL-STD-882 System Safety Program Requirements.
11. NAVAIR 00-25-403 01 July 2005- Guidelines for the naval aviation reliability-centered maintenance process.
12. Reliability-Centered Maintenance. John Moubray.
13. DEF STAN 02-45/ISSUE 2. Requirements for the application of Reliability-Centered Maintenance Techniques to Royal Navy Ships, Submarines, Fleet Auxiliaries and other Naval Auxiliary Vessels. Ministry of Defence. Julio 2000.
14. Fiabilidad. Bases teóricas y prácticas. José Warleta Carrillo.

APLICACIÓN DEL LÍMITE ELÁSTICO DINÁMICO EN LA EJECUCIÓN DE CÁLCULOS DE CHOQUE A BORDO DE SUBMARINOS

CF (CIA) D. PEDRO ANTONIO CASAS ALCAIDE

Doctor Ingeniero Naval por la UPM

JAL-DIC

Resumen.- En este documento se presenta un procedimiento específicamente desarrollado por el autor para integrar, de la forma más sencilla posible, el concepto de límite elástico dinámico y el método de los elementos finitos en la ejecución de cálculos de choque para estructuras de acero en régimen elástico instaladas a bordo de submarinos.

1. Introducción

Cuando una estructura de acero se carga con la rapidez suficiente, la experiencia demuestra que pueden alcanzarse tensiones superiores al límite elástico en condiciones estáticas sin que aparezcan deformaciones permanentes significativas en la citada estructura. En este sentido, los datos disponibles (ver referencia [2]) indican que el aumento esperable en el valor del límite elástico bajo condiciones dinámicas en los diferentes puntos de la estructura va a depender esencialmente de la velocidad de deformación existente en cada uno de dichos puntos.

Por otro lado, un submarino constituye un sistema dinámico de naturaleza continua cuyo tratamiento numérico estándar exige reducir previamente sus grados de libertad a un número finito mediante alguna de las técnicas disponibles al efecto, siendo el MEF una de las más usadas actualmente y la elegida en el ámbito del presente trabajo.

Una vez transformado en un sistema discreto, el submarino será susceptible de sufrir excitaciones exteriores que produzcan la evolución temporal (movimientos de respuesta) de cada uno de los grados de libertad arriba citados, y aplicando lo dicho al caso en que la excitación sea una onda de presión inducida por una explosión sin contacto directo, la respuesta dinámica quedará determinada por la colección de graficas que describen la variación de la posición de los diferentes puntos de la estructura en función del tiempo. Dado que un cálculo directo en este sentido puede resultar muy complicado (ver referencia [1]), lo usual será dividir el problema en dos partes:

- Determinación del pulso de choque (perfil temporal de aceleraciones) que aparece en las zonas del casco resistente donde se soporta la estructura cuyo comportamiento se desea analizar.
- Determinación de la respuesta dinámica de la estructura bajo estudio usando como dato de entrada el pulso de choque arriba indicado.

Este trabajo se centra exclusivamente en el segundo de estos dos problemas, obviando el hecho (en una primera aproximación simplificada) de que siempre habrá cierto grado de acoplamiento entre ambos: nótese que la forma del pulso de choque dependerá en mayor o menor medida de la masa y flexibilidad de la estructura soportada.

Tabla 1.- Nomenclatura

m	Masa modal de la estructura (kg)
k	Rigidez modal de la estructura (N/m)
δ_0	Velocidad de deformación característica del acero (1/s)
δ	Velocidad de deformación (1/s)
x_c	Longitud característica de la estructura en reposo (m)
Δx	Deformación modal de la estructura (m)
x	Desplazamiento modal de la estructura (m)
x_b	Desplazamiento modal de los puntos de soportado de la estructura (m)
t	Tiempo (s)
f	Frecuencia modal de la estructura (1/s)
t_f	$1/f$ (s)
t_c	Tiempo de carga de la estructura (s)
t_1	Tiempo de aceleración del pulso de choque (s)
t_2	Tiempo de desaceleración del pulso de choque (s)
v	Velocidad de pico del pulso de choque (m/s)
a_1	Aceleración de pico del pulso de choque (m/s^2)
a_2	Desaceleración de pico del pulso de choque (m/s^2)
a	Perfil temporal de aceleraciones del pulso de choque (m/s^2)
l	Límite elástico estático del acero (N/m^2)
l_d	Límite elástico dinámico del acero (N/m^2)
y	Módulo de elasticidad del acero (N/m^2)
LED	Límite elástico dinámico
MEF	Método de los elementos finitos
LEE	Límite elástico estático

A pesar de esta primera acotación de la complejidad del problema, su resolución sigue siendo difícil, motivo por el cual se introducirán las dos simplificaciones adicionales siguientes:

- Se tomará un solo valor para el LED, independientemente de cual sea el punto de la estructura y el instante considerados.
- Se asumirá que la estructura mantiene el régimen elástico en cada punto si la tensión máxima alcanzada no supera el criterio de plastificación establecido a partir del LED arriba citado.

A cambio de facilitar su resolución, estas dos simplificaciones obligan a dejar algunos detalles fuera del problema: por ejemplo, en aquellos instantes en los que la deformación (y por tanto, la tensión) alcance un máximo, su gradiente temporal (la velocidad de deformación) se anulará reduciendo el LED a su valor mínimo, lo que conllevará en la práctica un cierto nivel de deformación permanente.

Y dado que la pérdida de detalles hace inevitable la aparición de un nivel de incertidumbre más o menos elevado, se desaconseja aplicar los resultados de este trabajo a situaciones donde la estanqueidad del casco resistente pueda resultar crítica (bridas de unión con válvulas de casco, etc.).

En este documento se presenta un procedimiento específicamente desarrollado por el autor para integrar, de la forma más sencilla posible, el concepto de LED y la aplicación del MEF en la ejecución de cálculos de choque para estructuras de acero en régimen elástico instaladas a bordo de submarinos, habiéndose agrupado el trabajo efectuado en tres grandes bloques:

- Cálculo de un LED de tipo genérico e identificación del criterio de plastificación correspondiente.
- Estimación del tiempo de carga principal de la estructura (ver definición al final de este punto).
- Establecimiento de un esquema procedimental sencillo para el uso combinado del concepto LED y el MEF.

En último lugar se definirá una serie de conceptos usados con frecuencia a lo largo del documento:

Modo natural de una estructura: Modo de deformación correspondiente a la menor de todas las frecuencias propias de la estructura (obsérvese que el modo natural es independiente del pulso de choque elegido).

Modo principal de una estructura: Modo de deformación correspondiente a la menor de las frecuencias propias relevantes en la dirección del pulso de choque (obsérvese que, en general, el modo principal variará según sea la dirección en que se aplique el pulso de choque).

Tiempo de carga principal de la estructura: Tiempo que transcurre desde que se inicia el pulso de choque hasta que la deformación de la estructura alcanza su valor máximo, considerando únicamente el modo principal.

2. Cálculo del LED aplicable e identificación del criterio de plastificación

Antes de comenzar con el cálculo del LED aplicable, conviene introducir las siguientes hipótesis simplificadas:

H2.1.- Únicamente se consideran estructuras intrínsecamente resistentes frente a fenómenos de pandeo y cuya entrada en régimen plástico en cualquiera de sus puntos resulte inaceptable (se asume que el fallo bajo los efectos del pulso de choque ocurre cuando el comportamiento en cualquiera de sus puntos deja de ser elástico).

H2.2.- El grado de carga de la estructura previo a la aplicación del pulso de choque será lo suficientemente bajo como para poder despreciarlo en relación con los efectos producidos por dicho pulso de choque.

Sobre esta última hipótesis cabe decir que se ha introducido con el único objeto de no incrementar la extensión del trabajo, a pesar de que el estudio de estructuras con niveles de carga inicial significativos presenta un gran interés en la práctica (pernos de anclaje de maquinaria, recipientes para almacenamiento de fluidos sometidos a presión, etc.).

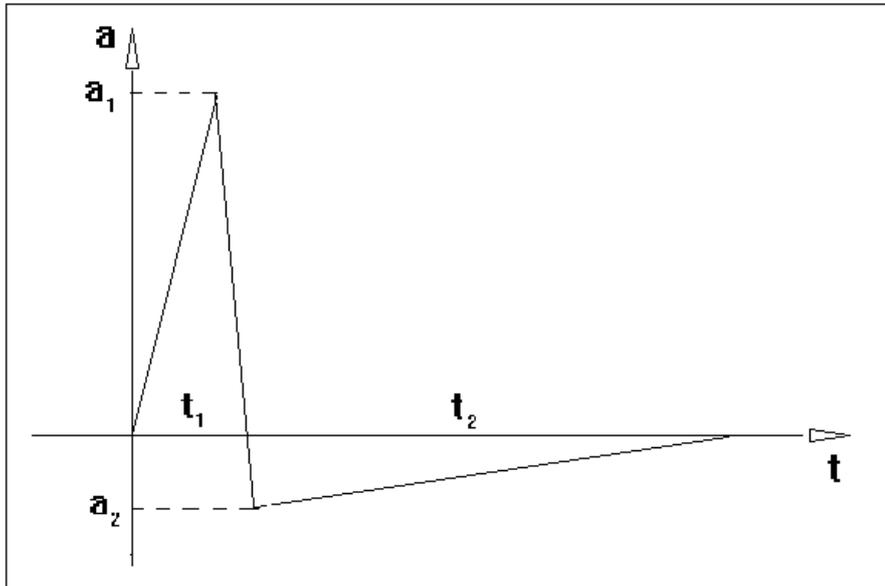


Figura 1.- Perfil típico de un pulso de choque originado en el casco resistente de un submarino por una explosión de tipo convencional sin contacto directo (aceleración en el eje de ordenadas y tiempo en el eje de abscisas).

A partir de aquí, y considerando únicamente su modo principal, es fácil ver que la respuesta de cualquier estructura ante un pulso de choque como el de la figura 1 consistirá esencialmente en una fase inicial de aumento de la deformación tras la cual comenzará un periodo de descenso en el que dicha deformación irá disminuyendo de forma más o menos gradual hasta alcanzar un valor final nulo, dado que el proceso transcurre en régimen elástico (nótese que las deformaciones en los diferentes puntos, aunque distintas, mantendrán la misma proporción en todo momento al haber considerado un solo modo propio).

A la vista de lo anterior, una forma sencilla de establecer el LED pasaría por calcularlo en base a la pendiente media de la fase inicial arriba citada para los puntos conflictivos de la estructura, y en este sentido, es importante comprender que la deformación alcanzada en dichos puntos al final de la citada fase se corresponderá siempre con valores de tensión iguales o superiores al LEE, ya que el uso del LED carecería de sentido en caso contrario.

Tomando ahora como valor de la tensión al final de la fase inicial el más conservador de todos (el del LEE), es fácil ver que la velocidad de deformación mínima a tener en cuenta sería la siguiente:

$$\delta = \frac{l}{yt_c} \quad (2.1)$$

En donde:

- El tiempo de carga se refiere al modo principal de deformación de la estructura.
- Únicamente se han considerado estados tensionales unidimensionales.

Por otro lado, y según la referencia [2], es posible obtener una correlación aceptable entre los valores del LED y de la velocidad de deformación en cualquier punto de una estructura mediante la fórmula de COWPER-SYMONDS (válida solamente para estados tensionales unidimensionales):

$$\frac{l_d}{l} = 1 + \left(\frac{\delta}{\delta_0} \right)^Q \quad (2.2)$$

En donde δ_0 y Q son dos constantes (esta última de naturaleza no dimensional) cuyo valor dependerá del material considerado.

Y combinado las dos expresiones anteriores se llegará al resultado buscado:

$$\frac{l_d}{l} = 1 + \left(\frac{l}{\delta_0 y t_c} \right)^Q \quad (2.3)$$

Nótese que esta última igualdad:

- No incluye de forma explícita el nivel de deformación alcanzado.
- Permite establecer un valor único para el LED, dado que el tiempo de carga principal podrá considerarse constante una vez fijada la estructura a analizar y el pulso de choque a usar como excitación (ver punto 3).

Aunque la expresión 2.3 conlleve un nivel de simplificación muy fuerte, siempre podrá usarse para aproximar los datos experimentales disponibles en un momento dado sin más que seleccionar el valor de las constantes incluidas en la misma (δ_0 y Q) para conseguir el mejor ajuste posible, empleando al efecto las técnicas usuales (mínimos cuadrados, etc.). Este enfoque coincide básicamente con el usado en algunas publicaciones conocidas por el autor, de acceso restringido desgraciadamente, para establecer relaciones análogas entre los valores esperables del LED y del tiempo de carga.

Por último, debe establecerse un criterio de plastificación que permita determinar si la estructura ha fallado en alguno de sus puntos para estados tensionales de tipo general, lo cual se conseguirá extrapolando la teoría de la energía de distorsión de VON MISES (ver referencia [3]) al caso de solicitaciones dinámicas sin más que sustituir en la misma el LEE por el LED calculado según la expresión 2.3 (recuérdese que esta última ha sido deducida para estados tensionales unidimensionales).

El planteamiento anterior puede parecer algo aventurado, no obstante lo cual, es fácil ver que al menos resulta coherente con la experiencia disponible.

- Según se indica en la referencia [2], el efecto de la velocidad de deformación a temperaturas muy inferiores al punto de fusión se reduce esencialmente a alterar la energía de activación asociada al deslizamiento de las dislocaciones existentes en la estructura cristalina de los metales, coincidiendo el inicio de dicho deslizamiento con el del régimen plástico cuando el comportamiento es dúctil (como el del acero empleado en la construcción de submarinos).
- Por otro lado, el criterio de plastificación de VON MISES funciona muy bien precisamente cuando se aplica a la predicción del comportamiento de metales dúctiles (ver referencia [3]), de lo cual se deduce que dicho criterio captura adecuadamente el inicio del deslizamiento arriba citado.

Teniendo ahora en cuenta estos dos hechos experimentales, es razonable esperar (al menos en una primera aproximación) que cualquier cambio en la energía de activación asociada al deslizamiento de dislocaciones en metales dúctiles influya únicamente en el valor de la energía de distorsión acumulada al final del régimen elástico, o dicho de otro modo, en el valor del límite elástico a introducir en el criterio de VON MISES.

3. Estimación del tiempo de carga principal de la estructura

En todo el desarrollo expuesto a continuación, se hará uso de las dos hipótesis simplificadoras siguientes:

H3.1.- Se considera despreciable el efecto de la gravedad y de la disipación irreversible de energía (fenómenos de fricción) en la estructura bajo estudio.

H3.2.- Se supone que todos los puntos de soportado de la estructura serán sometidos exactamente al mismo pulso de choque.

En la figura 1 puede verse la forma típica del pulso de choque a usar como dato de entrada para estimar el tiempo de carga principal de la estructura. Dado que dicho pulso debe corresponderse con un movimiento que comience y acabe en reposo tras un desplazamiento finito, es evidente que deberán cumplirse las dos igualdades siguientes:

$$a_1 = \frac{2v}{t_1} \quad (3.1)$$

$$a_2 = \frac{2v}{t_2} \quad (3.2)$$

Es decir, que el área bajo la zona de aceleración del pulso debe ser igual al área bajo la zona de desaceleración (nótese además que la aceleración de pico será normalmente mucho mayor que el valor de pico durante la fase de desaceleración).

En la figura 2 pueden verse de forma esquemática los desplazamientos (según el modo principal de la estructura) originados por el pulso de choque de la figura 1.

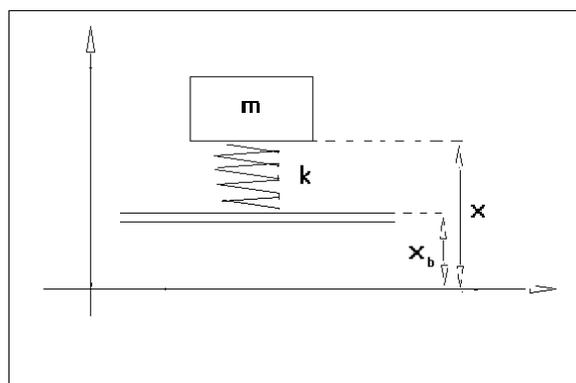


Figura 2.- Esquema básico del sistema masa-resorte equivalente al modo principal de deformación de la estructura bajo estudio (ver significado de la nomenclatura en la tabla 1 de la introducción).

Aplicando el método de LAGRANGE (ver referencia [4]) es fácil establecer la ecuación diferencial que describe el movimiento del sistema modal de la figura 2.

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = k \Delta x \quad (3.3)$$

En donde $\Delta x = x_c + x_b - x$.

Y mediante una manipulación sencilla de la expresión anterior es posible transformarla del siguiente modo:

$$\frac{d^2 \Delta x}{dt^2} + (2\pi f)^2 \Delta x = \frac{d^2 x_b}{dt^2} \quad (3.4)$$

En donde $(2\pi f)^2 = k/m$.

Es importante comprender que, en general, la aceleración modal en los puntos de soporte de la estructura (derivada segunda de x_b respecto al tiempo) no coincidirá con el pulso de choque que ven físicamente dichos puntos (α): la escala de tiempos será exactamente la misma, pero los valores en cada instante irán afectados de un factor de proporcionalidad debido a la transformación que sufren las funciones de acumulación de energía elástica y cinética de la estructura cuando se introduce en las mismas un solo modo propio (el principal en este caso).

A la vista de lo anterior, y dado que la ecuación 3.4 constituye un sistema lineal unidimensional, el segundo miembro podría cambiarse por cualquier otra excitación proporcional (como por ejemplo el pulso de choque) sin alterar la escala de tiempos del movimiento, lo que permite establecer la línea de razonamiento siguiente:

Caso A: Cuando $t_f/4 \gg t_1$ la acción del pulso de choque podrá considerarse instantánea a efectos prácticos.

En estas circunstancias, la estructura vibrará libremente tras el impulso inicial y, por tanto, el tiempo de carga se corresponderá con el de la rampa inicial de subida hasta el primer máximo de la respuesta armónica ($t_c = t_f/4$).

Caso B: Cuando $t_f/4 \ll t_1$ los efectos inerciales no serán significativos y, por tanto, la evolución temporal de la deformación modal (Δx) seguirá fielmente el perfil de aceleraciones del pulso de choque.

En estas circunstancias el tiempo de carga coincidirá con el tiempo que tarda en alcanzarse el primer pico de la figura 1, y dado que este último siempre será inferior al tiempo total de aceleración (t_1), un enfoque conservador será tomar directamente $t_c = t_1$.

Caso C: Para situaciones intermedias a las dos anteriores ($t_f/4 \sim t_1$) el tiempo de carga podría calcularse por interpolación, siendo una aproximación razonable (según la experiencia del autor) la siguiente:

$$\frac{t_c}{t_1} = \begin{cases} \frac{t_f}{4t_1} \leftrightarrow \frac{t_f}{t_1} > 8 \\ \frac{1}{7} \left(\frac{t_f}{t_1} + 6 \right) \leftrightarrow 8 \geq \frac{t_f}{t_1} \geq 1 \\ 1 \leftrightarrow \frac{t_f}{t_1} < 1 \end{cases} \quad (3.5)$$

Se hace notar que esta última expresión incluye de forma unificada (y no dimensional) los tres casos considerados: A, B y C.

4. Esquema procedimental para el uso combinado del LED y del MEF

Antes de comenzar este punto se hará una breve exposición de los conceptos básicos subyacentes en el uso del MEF relevantes en el ámbito del presente trabajo, remitiendo al lector a cualquiera de las múltiples referencias bibliográficas existentes al respecto para profundizar en los detalles.

Siguiendo el enfoque de LAGRANGE (ver por ejemplo referencia [4]), cualquier estructura puede considerarse como un sistema dinámico cuyo comportamiento dependerá de la forma de las funciones que describen la acumulación de energía elástica y cinética en la misma.

Bajo un planteamiento acorde con lo arriba indicado, el MEF constituye en esencia una herramienta para describir la energía elástica y cinética de la estructura en función exclusivamente de los desplazamientos y velocidades (derivadas temporales de los desplazamientos) en una serie discreta de nodos distribuidos de forma más o menos uniforme por toda la estructura.

Una vez obtenida la versión discreta de las energías elástica (función exclusiva de los desplazamientos nodales) y cinética (función exclusiva de las velocidades nodales), bastará con aplicar el método de LAGRANGE para obtener el sistema de ecuaciones diferenciales que gobiernan el movimiento de los diferentes nodos a lo largo del tiempo, el cual se denominará sistema diferencial discreto.

Es importante darse cuenta de que si la energía elástica se aproxima mediante una expresión de tipo cuadrático, el sistema diferencial discreto resultará lineal, siendo precisamente este el caso contemplado en el presente trabajo.

A partir del sistema diferencial discreto, y mediante alguna de las técnicas disponibles al efecto (métodos de iteración matricial, etc.), resulta posible extraer los modos propios de deformación de la estructura ordenados por orden creciente de su correspondiente frecuencia modal. Nótese que:

- No hace falta identificar todos los modos de deformación, sino solo los asociados a las frecuencias modales más bajas con una participación significativa en el comportamiento dinámico de la estructura, siendo lo usual truncar dicho proceso de identificación cuando se alcanza el criterio de corte seleccionado (masa modal acumulada, etc.).
- El tamaño de los vectores constantes asociados a cada uno de los modos propios de deformación de la estructura es proporcional al número de nodos establecido (varios miles en las aplicaciones del MEF habituales actualmente).

Y finalmente, una vez extraídos los modos propios relevantes (alrededor de la decena en la mayoría de las aplicaciones prácticas conocidas por el autor), se sustituyen en las ecuaciones discretas de las energías elástica y cinética antes citadas para establecer las ecuaciones diferenciales del movimiento correspondientes (una vez más aplicando el método de LAGRANGE), las cuales constituirán el denominado sistema diferencial modal.

Antes de terminar, se llama la atención del lector sobre dos temas que quizá no resulten evidentes.

El primero es que el número de ecuaciones del sistema diferencial modal coincide exactamente con el número de modos propios considerados (tal y como ya se ha dicho, una decena a lo sumo), lo cual contrasta fuertemente con las miles de ecuaciones que puede llegar a tener el sistema diferencial discreto: recuérdese que los vectores asociados a los diferentes desplazamientos modales tendrán miles de componentes en la mayoría de los casos encontrados en la práctica.

Y el segundo es que cuando el número de modos mínimo a tener en cuenta no pueda reducirse a una cantidad razonable sin perder demasiada exactitud y/o cuando el proceso de extracción de dichos modos resulte muy oneroso computacionalmente, el uso del sistema diferencial modal perderá gran parte de su atractivo, siendo preferible en la mayoría de estos casos (los cuales se han dejado fuera del documento) trabajar directamente con el sistema diferencial discreto.

4.1. Esquema procedimental

Se establece el tiempo de aceleración (t_1) del pulso de choque considerado, se halla el sistema diferencial discreto mediante el MEF y, teniendo en cuenta la dirección en que se aplica el citado pulso, se extraen de dicho sistema los modos propios relevantes en el comportamiento dinámico de la estructura, identificándose el valor de la frecuencia asociada al modo principal (f).

A partir de aquí, se procede según la casuística establecida al final del punto 3.

Caso A: Usando los modos propios arriba citados, se establece el sistema diferencial modal, se integra para hallar el máximo temporal de la tensión de VON MISES en cada uno de los nodos de la estructura y se comprueba que no se sobrepasa el criterio correspondiente (usando al efecto el LEE) en ninguno de dichos nodos.

En caso de haber sobrepasado el criterio de VON MISES en alguno de los nodos, se calcula el tiempo de carga según la expresión 3.5, se establece el LED correspondiente a dicho tiempo de carga (según la expresión 2.3) y se repite la comprobación arriba citada únicamente para los nodos conflictivos.

Caso B: Mediante el MEF se llevará a cabo un cálculo estático puro, usando como sollicitación el valor de la aceleración de pico (a_1) correspondiente al pulso de choque considerado y obteniendo como resultado el valor de la tensión de VON MISES en cada uno de los nodos de la estructura.

Una vez completado el cálculo anterior, se comprueba el cumplimiento del criterio de VON MISES en todos los nodos, usando para ello el LEE en primer lugar y posteriormente el LED (que corresponda al tiempo de carga principal estimado según la expresión 3.5) en aquellos nodos que hayan resultado conflictivos.

Se hace notar que en este caso no resulta necesario establecer el sistema diferencial modal ni, por tanto, llevar a cabo su integración.

Caso C: Se procede de forma totalmente análoga al caso B, pero empleando como aceleración para el cálculo estático el valor de pico del pulso considerado (a_1) multiplicado por un coeficiente de amplificación adecuado.

4.2. Cálculo del coeficiente de amplificación para el caso C

La aplicación de un cálculo estático puro al caso C podría considerarse como un planteamiento excesivamente simplista, y lo que es peor, quizá también demasiado optimista: justo en las zonas de coincidencia entre las frecuencias estructurales y las de excitación es donde suelen aparecer los fenómenos de amplificación dinámica (resonancias) indetectables mediante cálculos estáticos.

La situación anterior se puede corregir introduciendo un coeficiente de amplificación de origen estadístico en el valor de la aceleración de pico (a_1), y en este sentido, la mejor forma de proceder conocida por el autor sería la que se describe a continuación.

Paso 1: Lo primero es identificar un número suficiente de casos de estudio para cubrir adecuadamente los dos aspectos siguientes:

- Configuraciones estructurales alternativas.
- Pulsos de choque con perfiles de aceleración alternativos.

No conviene olvidar que, a su vez, estos últimos pueden aparecer según diferentes direcciones de aplicación.

Paso 2: Para cada uno de los casos de estudio identificados en el paso 1, lo siguiente sería llevar a cabo dos cálculos independientes:

- Uno de tipo dinámico según lo indicado para el caso A.
- Uno de tipo estático según lo indicado para el caso C, seleccionando previamente un valor tentativo *para el coeficiente de amplificación*.

Paso 3: A continuación, habría que hallar la relación entre los márgenes de seguridad obtenidos según los dos cálculos definidos en el paso 2 para cada uno de los casos de estudio identificados en el paso 1, al objeto de estimar la densidad de probabilidad asociada a dicha relación cuando se considera como una variable aleatoria.

Paso 4: Se repiten los pasos 2 y 3 anteriores para una serie de valores tentativos del coeficiente de amplificación, y a partir de las densidades de probabilidad así obtenidas, se establecería finalmente el valor más adecuado para dicho coeficiente.

Un segundo resultado obtenible de todo este proceso sería la identificación de configuraciones estructurales críticas (poco recomendables) desde el punto de vista de su resistencia a choque.

Por último, no conviene olvidar que el uso de un coeficiente de amplificación tiene como objetivo mejorar la fiabilidad del enfoque estático cuando se aplica al caso C, pero sin tener en cuenta las incertidumbres asociadas al uso de las expresiones 2.3 y 3.5.

5. Conclusiones y comentarios finales

Actualmente, el MEF es una herramienta muy utilizada en el análisis de estructuras (tanto en condiciones estáticas como dinámicas) dada la flexibilidad que ofrece:

- En el modelado geométrico (capacidad de establecer la disposición geométrica de la estructura a diferentes niveles de detalle)
- En el modelado numérico (posibilidad de introducción gradual de sistemas dinámicos con un número de grados de libertad creciente)
- En el tratamiento y presentación de los datos obtenidos de las simulaciones efectuadas.

Por otro lado, el uso exclusivo del LEE cuando la excitación varía rápidamente (como en el caso de un pulso de choque) puede llevar a dimensionamientos estructurales excesivamente conservadores, lo cual conduce a tener en cuenta el concepto de LED en aquellos materiales donde sea posible.

En este documento se ha presentado un esquema procedimental que permite el uso combinado del LED y del MEF en la ejecución de cálculos de choque para estructuras de acero en régimen elástico (lineal) a bordo de submarinos, tratando de alcanzar un equilibrio razonable entre el nivel de conservadurismo de los resultados obtenidos y el tiempo invertido en el correspondiente proceso de análisis.

El autor no dispone actualmente de los datos experimentales necesarios para establecer con rigor la fiabilidad del esquema procedimental presentado en este documento, y en este sentido, hay algunos puntos importantes que deberían revisarse con detenimiento en trabajos futuros:

- Aplicabilidad del criterio de plastificación de VON MISES a situaciones donde los efectos dinámicos son relevantes.
- Valoración cuantitativa de la incertidumbre asociada al uso de un valor único para el LED (una vez fijada la estructura y el pulso de choque), y por tanto, de las expresiones 2.3 y 3.5.

Independientemente de lo anterior, otros temas que también se dejan para trabajos futuros son:

- La identificación de un valor adecuado para el coeficiente de amplificación aplicable al caso C (tomando como patrón los resultados que daría un cálculo dinámico análogo al del caso A)
- La aplicación del concepto LED en estructuras sometidas a niveles significativos de carga previa al inicio del pulso de choque.
- La identificación de procedimientos eficientes para extraer (del sistema diferencial discreto) los modos propios relevantes en la dirección del pulso de choque considerado.

Finalmente, se llama la atención del lector sobre el hecho de no haber usado en ningún momento el concepto de espectro de choque (ver referencia [1]). Aunque este último es muy común en gran parte de la bibliografía existente, el autor ha preferido obviarlo fundamentalmente por dos motivos.

El primero es que no resulta posible aplicarlo si se opta por la integración directa (en el dominio del tiempo) de las ecuaciones diferenciales del movimiento, tal y como ocurre con el enfoque elegido para elaborar el presente trabajo, y en segundo lugar, porque en los espectros disponibles por el autor (de tipo estándar) se han eliminado los picos de resonancia que suele haber en ciertos rangos de frecuencia, lo cual limita la capacidad de analizar en detalle las características dinámicas del problema bajo estudio.

6. Referencias bibliográficas

- [1] P.A. Casas, 2003, *Análisis dimensional del comportamiento de equipos embarcados ante ondas de choque*, Revista de Ingeniería Naval n°805.
- [2] W.J. Stronge, T.X. Yu, 1993, *Dynamic models for structural plasticity*, Springer-Verlag London Limited.
- [3] L. Ortiz, 1998, *Elasticidad (Tercera edición)*, McGraw-Hill Interamericana de España.
- [4] F. Lafita, H. Mata, 1968, *Introducción a la teoría de vibraciones mecánicas*, Editorial Labor S.A.

BUQUES AUTÓNOMOS: ¿Desaparecerán los tripulantes de los barcos?

CC (CIA-EOT) Raúl Villa Caro

Ingeniero Naval y Oceánico / Capitán de la Marina Mercante

Doctor por la Universidad de A Coruña

Jefe de Ingeniería de Plataforma de ICOFER

1. Introducción

Desde hace un par de años se lleva hablando de buques inteligentes. De la mano de los «Smart-phones» han llegado ante nosotros los que se podrían denominar «Smart-ships». Pero dejando de lado los términos anglosajones, los podríamos llamar simplemente buques inteligentes, ya que de igual forma que los móviles de última generación, los nuevos barcos inteligentes necesitan la interacción humana para poder realizar sus operaciones. Por muy inteligente que sea un teléfono móvil, siempre necesitará de un humano para que lo utilice, porque de lo contrario, ¿para qué servirá? Pues algo parecido ocurre con los nuevos buques inteligentes, ya que por muchos sistemas avanzados que posean, a día de hoy necesitan a la tripulación para que opere con ellos. Aunque otro tema será el conocer el nivel de exigencia humana que requerirán esos buques inteligentes, que obviamente dependerá del grado de automatización de cada buque.

Actualmente ya existen buques mercantes con sistemas automáticos de ayuda al atraque y al amarre, o buques de guerra con sistemas integrados de control de plataforma. Este tipo de buques estarían encasillados dentro de lo que serían buques inteligentes, ya que poseen sistemas que lo son, pero que necesitan a las dotaciones para que interpreten los resultados o las posibles averías que puedan surgir. Junto a todo esto, la llegada de los Astilleros 4.0, formará parte de esa inteligencia de la que hay que dotar a los buques.



Figura 1. Buque mercante «inteligente» (Fuente: <www.prosertek.com>)

2. ¿Es lo mismo un buque inteligente que uno autónomo?

Una vez que ha quedado clara la definición de lo que sería un buque inteligente, llega ante nosotros una nueva acepción, la de buque autónomo. En este caso la definición es un poco más compleja. Evidentemente sería absurdo intentar acudir a la Real Academia Española (RAE) para intentar solucionar este enigma, ya que estamos ante un reto mucho más complicado, ya que se trata de términos muy actuales y correspondientes a tecnología muy avanzada.

De una forma básica, podríamos considerar como buque autónomo, a aquel que no necesita la interacción humana a bordo para llevar a cabo sus operaciones. De esta forma el control del buque se podría hacer de una forma remota (tripulantes virtuales) o bien podría ocurrir que el buque no necesitara tripulantes a distancia que lo manejaran, por poseer inteligencia suficiente para poder navegar de manera autónoma.

Pero ante la llegada de los nuevos buques, la OMI (Organización Marítima Internacional) ha tomado cartas en el asunto y ha empezado por definir con exactitud lo que es un buque autónomo (en inglés es conocido con las siglas de MASS, «Maritime Autonomous Surface Ship»). La OMI ha decidido clasificar a los buques con diferentes grados de autonomía, dependiendo del grado de automatización que posean. De esta forma tenemos la siguiente clasificación:

- Buque con procesos automatizados y apoyo en la toma de decisiones: en ellos la tripulación se encuentra a bordo para controlar el buque, aunque algunas operaciones podrían estar automatizadas.
- Buque controlado a distancia pero con tripulación reducida a bordo: en este caso el barco es controlado en remoto, desde una estación en tierra, pero en cualquier caso existe dotación a bordo para cubrir posibles eventualidades que puedan surgir.
- Buque controlado a distancia sin tripulación a bordo: ahora, y de nuevo, el barco se controla desde tierra, pero en este caso no existe tripulación a bordo.
- Buque totalmente autónomo: aquí ya nos referimos al buque del futuro. En este caso el barco será capaz de tomar decisiones por sí solo, sin necesidad de interacción humana.

En cualquier caso esta clasificación no es cerrada para cada buque. Por ello un barco podría cambiar su grado de automatización a lo largo de sus navegaciones, de forma que podría poseer para las maniobras más delicadas (entrada en puerto, atraque, amarre, recogida de práctico, navegación por aguas restringidas, etcétera) un grado de autonomía más exigente, y cuando estuviera en mar abierto, un grado de autonomía más relajado. O incluso se podría estudiar la posibilidad de que un barco no llevara tripulación a bordo durante las navegaciones en aguas abiertas, y la embarcación al acercarse a la entrada en puerto, en el momento por ejemplo de embarcar al práctico del puerto.

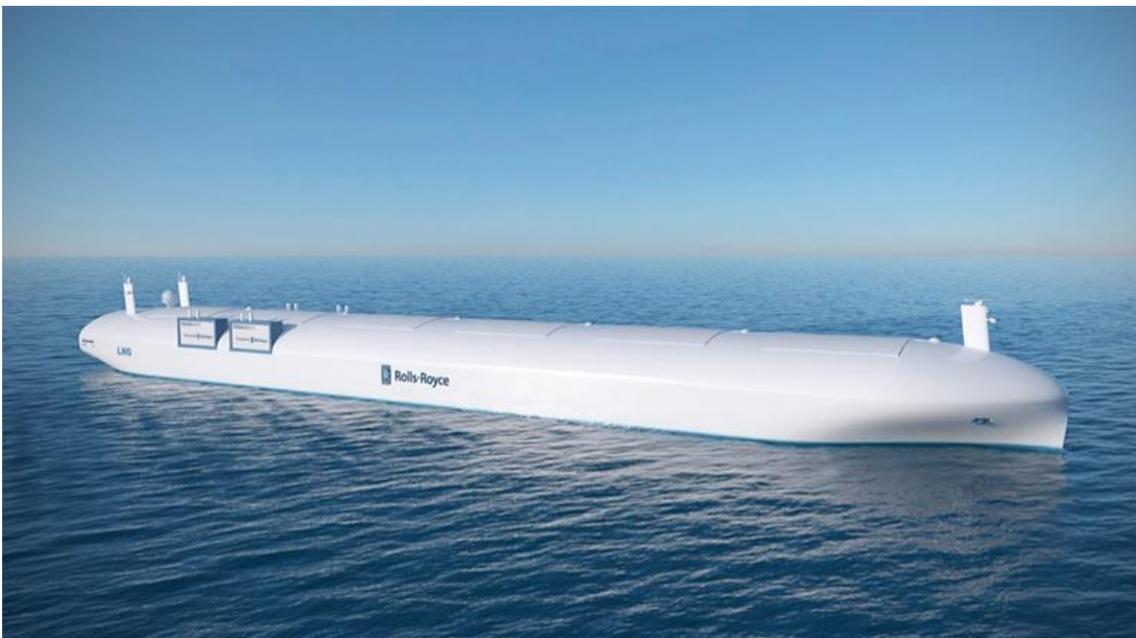


Figura 2. Buque autónomo (Fuente: Rolls-Royce)

3. Proyectos de buques autónomos

A día de hoy ya existen varios proyectos que están estudiando la viabilidad de los buques autónomos. Entre ellos destacan tres, dos internacionales y uno nacional.

Por un lado tenemos el Proyecto «MUNIN» (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks). Se trata de un proyecto de investigación ya finalizado en 2017, que estaba financiado por la Comisión Europea. Entre sus objetivos se encontraba el de desarrollar y verificar el concepto de buque autónomo.

Por otro lado habría que destacar el proyecto «AWA» (Advanced Autonomous Waterborne Applications). Se trata de una iniciativa promovida por la Agencia de Innovación de Finlandia (Tekes), junto con Universidades de dicho país y la empresa Rolls-Royce, que lidera el proyecto. Este proyecto es el más ambicioso dentro de la filosofía de buque autónomo. Busca la posibilidad de que los barcos puedan ser manejados de forma remota y/o autónoma. La empresa cree que ya dispone de la tecnología necesaria para llevar a cabo la navegación autónoma y remota, y piensa que las tripulaciones virtuales, que manejen los buques a distancia, son una realidad cercana en el tiempo. En cualquier caso Rolls-Royce también es consciente de que todavía se debe encontrar la forma óptima de combinar esa nueva tecnología con las especiales circunstancias que rodean las navegaciones de los buques en la mar, y sus operaciones en puerto.



Figura 3: Tripulantes virtuales en remoto, a distancia (Fuente: Rolls-Royce)

Finalmente se debe destacar un proyecto nacional, concretamente gallego. La empresa Industrias Ferri ha diseñado un vehículo autónomo, tipo dron, que dispone de un sistema inteligente de navegación para realizar las operaciones de forma remota, o incluso de manera totalmente autónoma. Para llevar a cabo su trabajo la embarcación dispone de un ordenador industrial que genera rutas eficientes libres de obstáculos a la navegación. Por supuesto ese ordenador dispone de algoritmos para que la embarcación actúe en sus maniobras de acuerdo con las reglas de navegación establecidas en el RIPA (Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes). Los citados algoritmos interactúan con la información que el buque recibe de sus múltiples sensores, hasta que la embarcación alcanza su destino pre-fijado.

La embarcación posee doce metros de eslora, desplaza cinco toneladas y alcanza los cincuenta nudos de velocidad. Estas características junto a una cubierta corrida y diáfana la convierten en la plataforma ideal para transporte de elementos auxiliares. La «Victoria», nombre con el que se ha denominado a este buque, corrige su rumbo y derrota de forma automática en base a la información que recibe de sus sensores, sin que sea necesaria la interacción humana exterior. En cualquier caso también está dotada de la posibilidad de poder ser manejada por control remoto.

Entre las funciones que puede desarrollar la Victoria, se podrían destacar las de alcanzar un punto fijo, seguimiento de un objeto móvil, mantenimiento de la posición mediante navegación en círculos alrededor de un punto, etcétera.



Figura 4: VICTORIA, embarcación autónoma (Fuente: Industrias Ferri)

4. Tripulaciones mínimas de seguridad en los buques

La OMI lleva años intentando concienciar a los diferentes estados en su carrera hacia la seguridad y por ello las diferentes normativas existentes en el sector marítimo, reguladas por medio de los mismos, deben centrarse en la búsqueda de la seguridad total de los tripulantes.

Es bien conocida la actual tendencia a la baja en las dotaciones de los buques, y sin que éstas lleven a cabo una adecuada reestructuración de sus guardias de mar. Por ello, estas reducciones de personal podrían afectar a la seguridad de los buques debido al aumento de la fatiga en los tripulantes existentes, al aumentar el número de guardias que tendrían que llevar a cabo. Esto exige que los tripulantes, al representar un número menor de personas para la misma carga de trabajo (a pesar de que los buques inteligentes exigirán menos personal), deberán realizar un esfuerzo mayor, ya que deberán poseer todos los conocimientos adecuados que dicta el convenio STCW (Convenio Internacional sobre normas de Formación, Titulación y Guardia para la gente de mar, de 1978). Además no debemos olvidar que estos tripulantes deben vivir a bordo con un ambiente de confort idóneo que establezca una calidad de vida óptima para que puedan llevar a cabo sus funciones de manera efectiva, tal como establece la Convención de Trabajo del 2006 (Maritime Labour Convention).

5. Conclusiones

Me gustaría focalizar estas conclusiones intentando responder al interrogante expuesto en el título de este artículo, referente a si desaparecerán o no los tripulantes de los buques.

La respuesta al interrogante es difícil, pensemos en los siguientes escenarios:

1. El buque navega gobernado por un sistema de control automatizado que corrige sus propios errores.
2. El buque es controlado a distancia, mediante interacción humana.
3. El buque en alta mar navega de forma automatizada y utiliza interacción humana, a distancia, al entrar y salir de puerto.

Pero me surge este interrogante, ¿se ha pensado en las averías de los buques?

Llegados a este punto también me pregunto, ¿y alguien ha pensado en la obligatoriedad de los buques de recoger práctico al llegar a puerto? Se me presenta al menos como curioso, el pensar en la cara que pondrá el práctico cuando embarque en un buque en el que no exista tripulación. Aunque pensándolo en frío, ¿podría existir también el «tele-practicaje»? Creo que nos queda aún mucho camino por recorrer hasta que lleguemos al escenario de buques con tripulación «cero». Pero hasta que alcancemos esa meta, pensemos en hasta qué punto podríamos reducir la tripulación. Es indudable que los buques deberán poseer muchos sensores que serán imprescindibles, pero no parece esa la parte difícil del asunto. Pensemos por un momento en los tripulantes a distancia que dirigirán el buque, ¿cuántos buques podrán manejar simultáneamente? Pues si la respuesta es sólo uno, ya no termino de ver cuál es la ventaja del desplazamiento a tierra de los tripulantes. Pero volvamos a bordo, ¿hasta qué punto podemos reducir el personal? Pensemos de nuevo en el número total de oficiales a bordo del buque, ¿hasta qué número se podría reducir la totalidad de los oficiales?

Pues para contestar a esa serie de interrogantes habría que empezar diciendo que sería necesaria una reestructuración de todos los planes de estudios, para que los nuevos oficiales, estuvieran formados para todo lo que exigen los nuevos buques. Esos nuevos «super-oficiales» deberían poder montar guardia en el puente, y tener conocimientos sobre todo lo que exija el buque. Aun así, ¿podríamos reducir de tres oficiales: el capitán y dos oficiales más, a menos de tres? Yo creo que no. Esos tres superhombres, o supermujeres, deberían ser capaces de poder atender a todas las necesidades y exigencias del buque «semiautónomo». Su formación debería ser la equivalente a las dos secciones actuales, puente y máquinas, pero complementada y actualizada con todas las nuevas necesidades de estos buques (informática, electrónica, ciberseguridad, etcétera).

6. Referencias bibliográficas

- [1] Bureau Veritas; Guidelines for Autonomous Shipping. Diciembre de 2017.
- [2] Cordero, M. (2017). Autonomía marítima: objetivo de las regulaciones. Recalada, 18-19.
- [3] Corte, J. d. (2017). Retos legales de la operativa de los buques autónomos. Recalada, 20-24.
- [4] Cruz, E. (2017). Buques autónomos: ha comenzado su regulación. Recalada, 9-11.
- [5] Filgueira, J. J. (2017). La tecnología que viene ¿acabará con el empleo en la mar? Recalada, 6-8.
- [6] Lloyd's Register; Unmanned Marine Systems Code. Febrero de 2017.
- [7] MUNIN. (2016). MUNIN Project . Obtenido de <<http://www.unmanned-ship.org/munin/>>.
- [8] Organización Marítima Internacional. (1972). Reglamento internacional para prevenir abordajes (COLREG). OMI.
- [9] Uriarte, J. I. (2017). Enseñanzas náuticas y los proyectos de buques autónomos. Recalada, 12-14.

QUÉ ES FILELESS MALWARE

TN (CIA-MO-EOF) D. MARIO GUERRA SOTO

Jefatura de Operaciones-Grupo Investigación Digital
EMAD-Mando Conjunto de Ciberdefensa

Resulta cada vez más frecuente durante la lectura de artículos especializados en forense digital encontrarse con muestras maliciosas clasificadas bajo el epígrafe *fileless malware*. Aunque, en principio, el término parece bastante autoexplicativo (código malicioso que no utiliza ficheros), cuando el analista de *malware* lee artículos procedentes de diferentes fuentes, puede comprobar que no todos los investigadores utilizan el término de la misma forma.

A lo largo de este artículo se tratará de explicar al lector la diferencia existente entre el término genérico *fileless malware* y otros términos más granulares de reciente cuño.

Para intentar determinar si un sistema servidor o *endpoint* se encuentra comprometido por código malicioso, tradicionalmente se ha invertido gran parte del esfuerzo defensivo en emplear detección automática de *malware* basada en firmas. Esta técnica se basa en detectar la presencia en el sistema de ficheros de evidencias lógicas coincidentes con un conjunto de patrones (Ej. Valor resumen, claves en el *Registro* de *Windows*, ficheros ubicados en determinadas rutas). Este conjunto de patrones, conocidos como indicadores de compromiso (IOC, *Indicators of Compromise*), se generan a partir de la caracterización analítica de muestras anteriormente analizadas.

En aras de minimizar las posibilidades de detección de la ejecución de la muestra maliciosa por estas defensas de punto tradicionales, los atacantes optan por evitar, en la medida de lo posible, dejar evidencias lógicas en el sistema de ficheros de la víctima. De esta forma, no solo evitan ser detectados, sino que, además, se dificulta la posible caracterización de la muestra por un analista de *malware*.

Genéricamente, se conoce como *fileless malware* al código malicioso que opera en la memoria RAM asignada al sistema operativo víctima sin utilizar ejecutables maliciosos ubicados en alguno de los sistemas de ficheros de los volúmenes montados en este sistema operativo.

Pese a esta aparatosa definición, en ocasiones, algunas de las muestras clasificadas por las compañías antivirus como *fileless malware* sí que utilizan realmente ficheros durante su ejecución y, por tanto, estos podrían ser recogidos y examinados por el analista forense.

Se da además la circunstancia de que, para poder gestionar la memoria RAM de manera más eficiente, los sistemas operativos vuelcan y recuperan continuamente páginas de memoria al sistema de ficheros de forma transparente para las aplicaciones que se encuentran en ejecución en el sistema. Además, tanto los fallos críticos producidos en el sistema como el paso al estado de hibernación/suspensión también conllevan un volcado del contenido de la memoria RAM al sistema de ficheros. Técnicamente, en todos estos casos citados, el *malware* se encontraría en el sistema de ficheros de la víctima, lo que supone la existencia de evidencias lógicas que podrían ser recogidas y examinadas por un analista forense.

El lector avisado se habrá percatado que existe también cierto *hype* dentro de la industria desarrolladora de soluciones antivirus a la hora de catalogar muestras maliciosas como *fileless malware*. Pero entrar a valorar esta actitud comercial sería desviarse del objetivo principal de este artículo.

En general, la definición de *fileless malware* se aplica en situaciones en las que la infección comienza con un *script* malicioso o, incluso, con un ejecutable benigno ubicado en el sistema de ficheros de la propia víctima. También se aplica en aquellos escenarios donde la muestra almacena artefactos en el *Registro de Windows*, pese a que el *Registro* en realidad se almacena en el sistema de ficheros.

Pese a que en su comienzo hacía únicamente referencia a código malicioso que permanecía únicamente en la memoria sin ni siquiera implementar mecanismos de persistencia en el sistema operativo víctima, el término ha ido evolucionado hasta incluir muestras de *malware* que utilizan determinados aspectos del sistema de ficheros para su activación o presencia.

Algunos ejemplos de esta categoría se remontan hasta el año 2001, como la muestra denominada *Code Red*, la cual explotaba una vulnerabilidad existente en los servidores web *Microsoft IIS* y basaba su persistencia en memoria partiendo de la hipótesis de que raramente un servidor web de un entorno corporativo es reiniciado. En 2003 hizo su aparición *SQL Slammer*, que explotaba una vulnerabilidad existente en *Microsoft SQL Server*. El siguiente hito mediático tuvo que esperar hasta 2012, cuando fue descubierto un troyano bancario que fue denominado como *Lurk*, si bien su creación y difusión data de 2011. *Lurk* era distribuido mediante el *Exploit Kit Angler*, el cual explotaba vulnerabilidades existentes en la ejecución de JAVA dentro de navegadores web. Pese a que *Lurk* por sí mismo no instalaba una persistencia propia, en ocasiones, *Angler* sí lo hacía.

Ya en 2014 apareció *Poweliks*, una muestra maliciosa cuyo vector de ataque explotaba una vulnerabilidad existente en el editor de textos *Microsoft Word*. Combinando la invocación de *PowerShell* con la interpretación de código JavaScript mediante el motor interno del propio sistema operativo, comenzaba su ejecución en memoria. Para ello, utilizaba la subclave *Run* del *Registro de Windows* como base para realizar una llamada al ejecutable legítimo del sistema operativo *rundll32.exe*; en esta llamada se pasaba a *rundll32.exe* un conjunto de parámetros con los que comenzaba la carga en memoria y posterior ejecución del *malware*.

Ese mismo año, el *rootkit* conocido como *Phase Bot* fue diseñado para esconder su código relocalizable y cifrado en el *Registro*. Utilizaba *PowerShell* para leer y ejecutar este código, independiente de su posición en memoria. Al igual que la ya comentada *Poweliks*, esta muestra de *malware* mantenía la persistencia lanzándose desde una clave autoejecutable del *Registro* *rundll32.exe*.

A mediados de 2015, el *malware* conocido como *Duqu 2.0* explotaba una vulnerabilidad existente en *Microsoft Windows* para instalar una muestra maliciosa sigilosa que permanecía únicamente en la memoria del *host* infectado, no implementando ningún mecanismo de persistencia. No obstante, como el objetivo de los atacantes eran servidores, sus TTP (Tácticas, Técnicas y Procedimientos) asumían que, por norma general, este tipo de objetivos tienen unos tiempos de permanencia en funcionamiento muy elevados. En caso de que alguno de los servidores comprometidos fuese reiniciado por sus administradores legítimos, lo que suponía en la práctica su desinfección, los atacantes procedían a intentar infectar nuevamente ese sistema.

A mediados de 2016 se hizo público el análisis de la muestra de *malware* conocida como *PowerSniff*. La infección comenzaba con un fichero de tipo *Microsoft Word*, el cual contenía una macro maliciosa. La mecánica en memoria de esta muestra era similar en algunos aspectos a la de *Kovter*, una muestra de *fileless malware* que hizo su aparición en 2015. Utilizaba un *script* para *PowerShell* que ejecutaba un *shellcode*, el cual descifraba y ejecutaba un *payload* malicioso adicional, trabajando únicamente en memoria. Esta muestra tenía la capacidad adicional de almacenar temporalmente una librería maliciosa en el sistema de ficheros. Puede observarse en su cadena de ejecución que, en determinadas fases, empleaba el sistema de ficheros, dejando por tanto evidencias digitales que permitirán su posterior análisis.

También existen muestras de *ransomware* de tipo *fileless*, siendo un ejemplo *PowerWare*, cuya cadena de infección comenzaba a partir de una macro maliciosa embebida en un documento de *Microsoft Office*. Esta macro lanzaba *PowerShell* y continuaba el proceso de infección del sistema sin depositar ejecutables maliciosos en el sistema de ficheros.

A comienzos de 2017, la compañía Kaspersky Labs reportaba la detección de un ciberataque en el cual se almacenaba código malicioso basado en *Meterpreter* únicamente en memoria. Los únicos artefactos del sistema de ficheros eran herramientas legítimas de *Microsoft Windows*: la herramienta de línea de comandos *sc* (permite comunicarse con el Administrador de control de servicios y con los propios servicios), la cual era empleada para instalar un servicio malicioso; *Powershell*; y *netsh* (empleada para establecer un túnel de tráfico de red malicioso).

La muestra de *malware* conocida como POSHSPY utilizaba las capacidades de WMI (*Windows Management Instrumentation*) del propio sistema operativo para mantener la persistencia y confiaba en *PowerShell* para su *payload*. Esta muestra tenía además la capacidad de descargar ficheros ejecutables adicionales, los cuales podía almacenar en el sistema de ficheros. Esta capacidad adicional, siendo estrictos a la hora de calificar las muestras, anularía la condición fundamental para poder ser considerada *fileless*.

Sirvan los anteriores ejemplos como muestra de todas las muestras que llegan a ser consideradas por los investigadores de las compañías de soluciones de ciberseguridad como *fileless malware*. No obstante, para enredar todavía más las cosas, pueden encontrarse artículos de determinados investigadores y empresas del sector que denominan estas muestras como: *malware* sin cuerpo (*bodiless malware*), término empleado por Sergey Golovanov y utilizado también por los investigadores de Kaspersky Labs en algunos de sus artículos; amenaza volátil avanzada (AVT, *Advanced Volatile Threat*), versión acuñada por John Prisco, de la compañía Triumphant Inc., pero que ha tenido escaso éxito; y ataques no basados en *malware* (*non-malware attacks*), favorito para la compañía Carbon Black.

El correcto empleo de estos términos expuestos anteriormente, y otros de cuño más reciente, permiten llevar a cabo cierta desambiguación a la hora de clasificar este espectro tan amplio de *malware*.

Así, el término ***non-malware attack*** se utiliza para referenciar el ataque en el que se utiliza software existente y protocolos autorizados en el sistema de la víctima para poder llevar a cabo las actividades maliciosas. El agente malicioso será capaz de controlar el sistema víctima sin necesidad de tener que descargar ningún fichero malicioso, de ahí el motivo de su nombre.

También suele definirse a este tipo de ataques como LOL o *LotL* (*Living-Off-The-Land*), expresión inglesa para referirse a “vivir de lo que da la tierra”.

Un informe publicado en 2017 por Carbon Black cifraba en un 52% los ataques que abusaban de dos programas legítimos como *PowerShell* y WMI. Pero estas dos aplicaciones no son las únicas legítimas que pueden sufrir el abuso de los atacantes. A fecha de publicación, existen más de ochenta *LOLBins* (*Living-Off-The-Land Binaries*) y *LOLScripts* listados por el Proyecto *LOLBAS* (*Living-Off-The-Land Binaries and Scripts*), incluyendo un amplio espectro que abarca desde la herramienta de transferencia de datos *bitsadmin.exe* hasta *print.exe*. La lista incluye programas que se encuentran documentados por ser potencialmente vulnerables, además de un conjunto de programas que se han convertido en los favoritos de los atacantes para recuperar *payloads* durante la ejecución de ataques en el mundo real (Ej. *mshta.exe*, *certutil.exe*, *regsvr32.exe*).

En junio de 2018, la versión 3.11 de *Cobalt Strike*, un conocido software para realizar auditoría intrusiva de sistemas, incluyó una alternativa a las técnicas existentes de *LotL*, siendo esta denominada por la compañía FireEye como BYOL (*Bring Your Own Land*). Esta técnica permite a *Cobalt Strike* la ejecución de ensamblados .NET completamente en memoria.

Mediante el desarrollo de ensamblados a medida en lenguaje C#, el atacante no necesita confiar el éxito del ataque en la presencia previa de unas herramientas vulnerables específicas en el sistema víctima. Por el contrario, el desarrollador de *malware* escribirá sus propias herramientas, pudiendo alcanzar gracias a la flexibilidad del código C# la misma funcionalidad que si utilizase *PowerShell* y WMIC (*WMI Command-line*).

La ventaja de la técnica BYOL sobre los ataques basados en *PowerShell*, WMIC, *schtasks/at* y *reg* es que estas herramientas suelen estar actualmente más controladas por las medidas defensivas existentes, mientras que en el caso de las herramientas customizadas, pese a poder tener la misma funcionalidad, no levantan las alertas establecidas para estas herramientas mencionadas.

Finalmente, se suele definir como *malware* solo en memoria (***memory-only malware***) aquel en el que el código malicioso nunca se almacena en el disco del sistema víctima. En ocasiones, esto es posible porque el *malware* se inyecta en otro proceso, pudiendo interactuar con el sistema operativo sin necesidad de explotar vulnerabilidades del sistema (Ej. Ataque *AZORult*). En otras, los atacantes “envuelven” ejecutables compilados dentro de *scripts* que extraen el *payload* en tiempo de ejecución (Ej. *GhostMiner*).

En técnicas más avanzadas de *memory-only malware*, como *Process Doppelganging*, la muestra maliciosa evita acceder al sistema de ficheros sin tener que emplear tampoco inyección de memoria en su sentido más clásico. El atacante utiliza de forma maliciosa las capacidades de transacción de NTFS implementadas en Windows para modificar temporalmente un fichero de confianza en memoria sin tener que realizar cambios en el sistema de ficheros (Ej. *SynAck*).

A modo de conclusión, y ante la ausencia de un consenso sobre el uso del término entre los expertos en la materia, el autor de este artículo considera que debería utilizarse por los profesionales del sector de una manera más granular el término *fileless malware* a la hora de describir el funcionamiento de una muestra maliciosa, restringiendo su aplicación solamente para aquellas muestras que su mecanismo de persistencia no se base en almacenar ficheros ejecutables en el sistema de ficheros de la víctima.

En general, la mayoría de las muestras maliciosas modernas que consiguen evadir actualmente las medidas defensivas corporativas (perimetrales y de *endpoint*) utilizan algún tipo de capacidad *fileless*. Estas TTP se basan en aprovechar las características del sistema operativo y las aplicaciones explotando a su vez la dificultad que tienen las herramientas anti *malware* para poder detectar y prevenir las técnicas antes comentadas.

De todas formas, más allá del término empleado por los investigadores para dar mayor visibilidad a su investigación en una publicación de carácter técnico o comercial, lo realmente importante, desde un punto de vista estrictamente defensivo, no es tanto filosofar si la amenaza se materializa completamente en memoria o, si en alguna de sus etapas, la muestra accede al sistema de ficheros y deposita evidencias que puedan ser analizadas. El factor más determinante es que los investigadores puedan llegar a caracterizar de la forma más granular posible todo el conjunto de técnicas empleadas por el atacante para intentar materializar su amenaza. Esto permitirá implementar las medidas defensivas corporativas precisas y oportunas para lograr interferir la consecución de estas tácticas *fileless*.

ESTUDIO DE LA DEGRADACIÓN DE LA DIFENILAMINA (DFA) Y CENTRALITA I. (C-I) CON TEMPERATURA/ TIEMPO MEDIANTE HPLC*

Dr. D. MANUEL LAGUNA IGLESIAS
C/ Arturo Soria 287, 28033, Madrid.
mlagigl@fn.mde.es
TN (CIA-EOF) D. JAVIER LÓPEZ MUÑOZ
Arsenal de Cartagena
superlopezjr@hotmail.com (JLM)

*Artículo aceptado por el Comité Científico del VI Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad 2018. Valladolid

Palabras clave: ESTABILIZANTES, HPLC, ENVEJECIMIENTO T/t.

Resumen

El objetivo principal del este estudio es la medición e interpretación de los cromatogramas de tres muestras de pólvoras cuya composición en origen es conocida, pero cuyo estado de degradación no lo es. Como objetivo secundario se realiza un proceso de envejecimiento acelerado por temperatura-tiempo, para la degradación de los estabilizantes.

Para la realización del estudio ha sido necesario el uso de las técnicas instrumentales de Cromatografía y Espectroscopia.

En el trabajo he elaborado, mediante el equipo HPLC (High Performance Liquid Chromatography), un cromatograma patrón con los tiempos de retención de los estabilizantes difenilamina, centralita I y sus derivados. Para posteriormente y usando los datos hallados establecer no solo la composición de las diferentes pólvoras, sino que también el porcentaje de sus compuestos en que se encuentran en las muestras.

Hallada la composición inicial de las pólvoras realicé una degradación por envejecimiento acelerado por temperatura-tiempo, con el objetivo de conseguir una degradación importante de los estabilizantes.

El resultado del trabajo es la comparativa de las pólvoras antes y después del envejecimiento, basándome en la desaparición gradual de los estabilizantes «difenilamina» y «centralita I», y en la aparición simultánea de sus derivados.

1. Introducción

El uso de instrumentación es una parte atractiva y fascinante del análisis químico que interacciona con todas las áreas de la química y con muchos otros campos de la ciencia pura y aplicada. Esta instrumentación proporciona los límites de detección más bajos requeridos para asegurar con precisión la composición de las sustancias.

La mayoría de las técnicas instrumentales queda en una de las tres áreas principales: Espectroscopia, Electroquímica y Cromatografía.

La Espectroscopia consiste en la medición e interpretación de fenómenos de absorción, dispersión o emisión de radiación electromagnética, que ocurren en átomos, moléculas y otras especies químicas. Esta absorción o emisión se encuentra asociada al cambio de los estados de energía de las especies interactuantes.

La Electroquímica consiste en la medición de corriente eléctrica, resistencia y voltaje en función o no del tiempo para detectar de manera muy fiable la composición de sustancias.

La Cromatografía se diferencia de la mayoría de los métodos físicos y químicos de separación, en que se ponen en contacto dos fases mutuamente inmiscibles. Una fase es estacionaria y la otra móvil.

La Cromatografía se clasifica en Cromatografía de gases, de líquidos y HPLC (de high-performance liquid chromatography).

La Cromatografía de gases es solo permitida en aproximadamente el 20% de los compuestos conocidos, ya sea porque son insuficientemente volátiles y no pasan a través de la columna, o porque son térmicamente inestables y se descomponen en las condiciones de separación.

La Cromatografía de líquidos de alto rendimiento (HPLC) no está limitada por la volatilidad o la estabilidad térmica de la muestra. La HPLC es capaz de separar macromoléculas y especies iónicas, productos naturales lábiles, materiales poliméricos, y una gran variedad de otros grupos polifuncionales de alto peso molecular.

La separación cromatografía en HPLC es el resultado de las interacciones específicas entre las moléculas de la muestra con ambas fases, móvil y estacionaria. El equipo de HPLC nos dará no solo una relación de las sustancias que se encuentran en las pólvoras de ensayo, sino que también nos dará un porcentaje cuantitativo de cada una de ellas. [2,1]

2. Desarrollo

El «Estudio de la degradación de la difenilamina [DFA] y la centralita I [C-I] en las pólvoras, con tratamiento Temperatura-tiempo mediante HPLC», parte del conocimiento exhaustivo de los estabilizantes y sus derivados así como de sus tiempos de retención.

Con todos estos datos, hallados mediante cromatogramas de las muestras patrón de los estabilizantes y sus derivados, creo un cromatograma tipo para cada estabilizante con todos los posibles compuestos derivados.

Tras realizar los procesos de preparación de las disoluciones de las muestras, las introduciré en el equipo de HPLC y hallaré el cromatograma de las citadas pólvoras, tal y como se encuentran a su recepción.

Para la realización del estudio se han utilizado las siguientes pólvoras:

A) GSB 122 Fil. 107 Estabilizada con DFA (perteneciente a cañón 76/62)

B) GDB 107 Fil. 356 Estabilizada con C-I (perteneciente a mortero 60mm)

Posteriormente, realizo una degradación acelerada por envejecimiento de temperatura y tiempo, con el objetivo de conseguir en el nuevo cromatograma una degradación importante de los estabilizantes, y así poder calcular la capacidad del equipo.

El resultado del trabajo es la comparativa de las pólvoras antes y después del envejecimiento, basándome en la desaparición gradual de los estabilizantes «difenilamina» y «centralita I» y en la aparición simultánea de sus derivados.

3. Listas, figuras y tablas

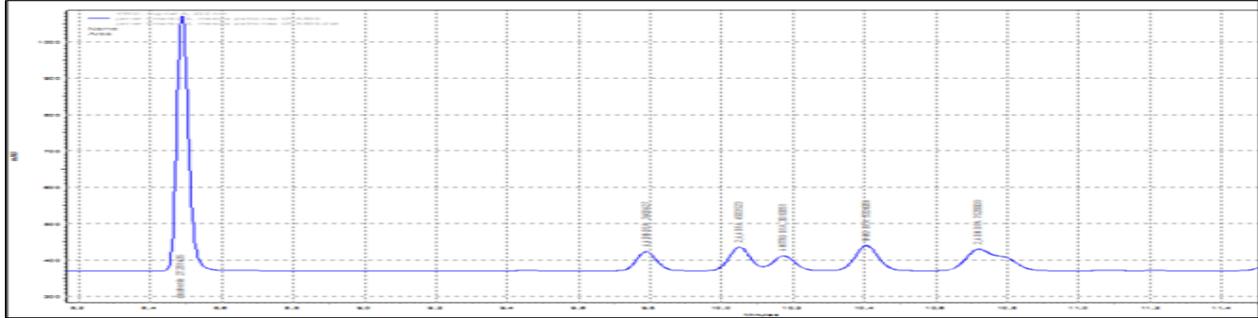


Figura 1. Cromatograma DFA y derivados

Compuesto	Tiempo (segundos)
Disolvente	0
4,4 DN-DFA	1.3
2,4,4 DFA	1.57
4 NITRO DFA	1.714
N-NO DFA	1.926
2,4 DN DFA	2.238
DFA	2.3
2 NITRO DFA	3.1

Tabla 1. Tiempo de retención en segundos

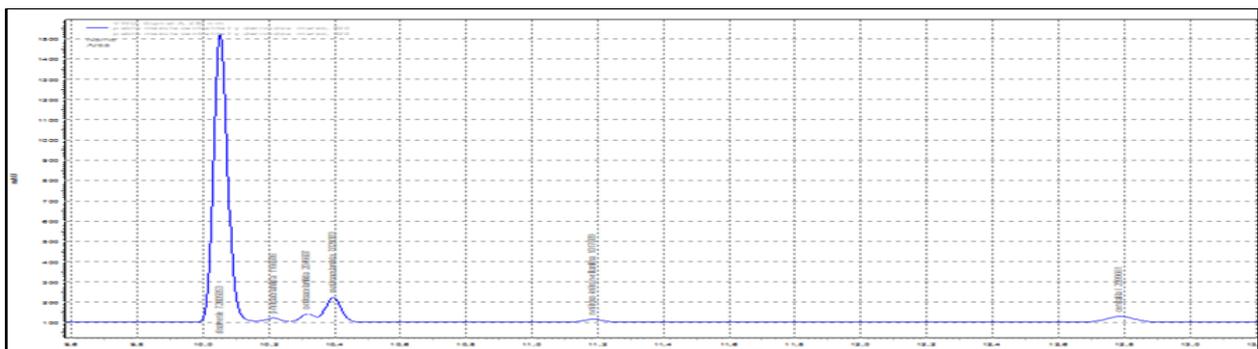


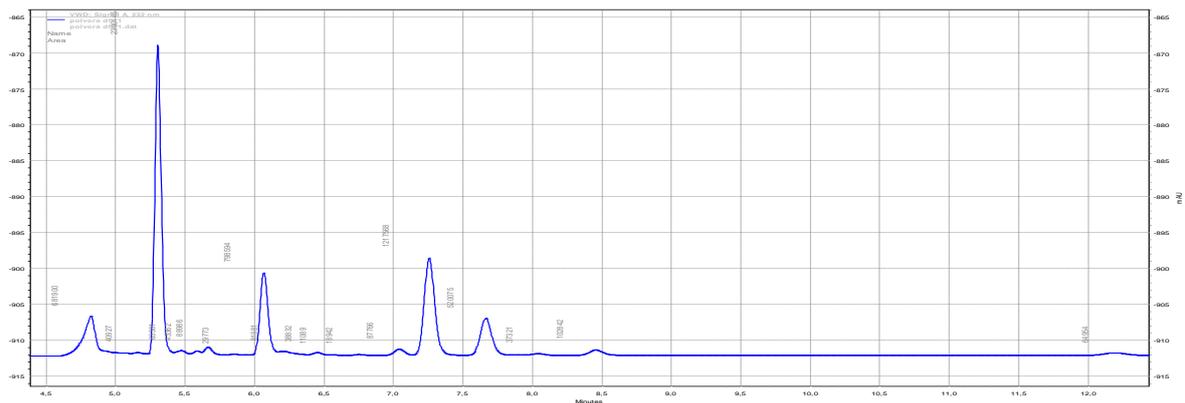
Figura 2. Cromatograma C.I. y derivados

Compuesto	Tiempo (segundos)
Disolvente	0
p-nitroacetanilida	0.165
o-nitroacetanilida	0.269
m-nitroacetanilina	0.351
n-nitroso 4 nitro n-etilanilina	1.15
Centralita I	2.752

Tabla 2. Tiempo de retención en segundos

PÓLVORA A	% PESO	PÓLVORA B	% PESO
Nitrocelulosa	87	Nitrocelulosa	57,75 ± 1,5
Dinitrotolueno	10	Nitroglicerina	40,00 ± 1,5
Dibutilftalato	3	Nitrato Potásico	1,50 ± 0,5
Difenilamina (estabilizante)	1	Etilcentralita	0,75 ± 0,1
Sulfato Potásico (añadido)	2	Grafito	0,20
Humedad	0,6 máx.	Materias volátiles	0,5% (máx.)
Disolvente residual	1.4 máx.	Cenizas totales	0,4% (máx.)

Tabla 3. Composición pólvora A) y B)



	TIEMPO retención	TIEMPO relativo	AREA	AREA relativa	Concentración (mg/l)	Concentración estabilizante (%)
¿?	7,3	-0,48	130520	0,002722019		
Disolvente	7,783	0	420930807	1		
¿?	8,543	0,76	1949720	0,404677162		
¿?	8,7	0,917	96310	0,019989772		
4 NITRO DFA	9,5	1,717	140736	0,029210679	136,9576726	0,052%
N-NO DFA	9,723	1,94	2749274	0,570629835	1801,705393	0,707%
DFA	10,123	2,34	1149571	0,238600994	505,8688179	0,198%
2,4 NITRO DFA	10,907	3,124	169727	0,035227951	107,0502914	0,041%
						0,998%

Tabla 4. Tiempos de retención-área-concentración pólvora A

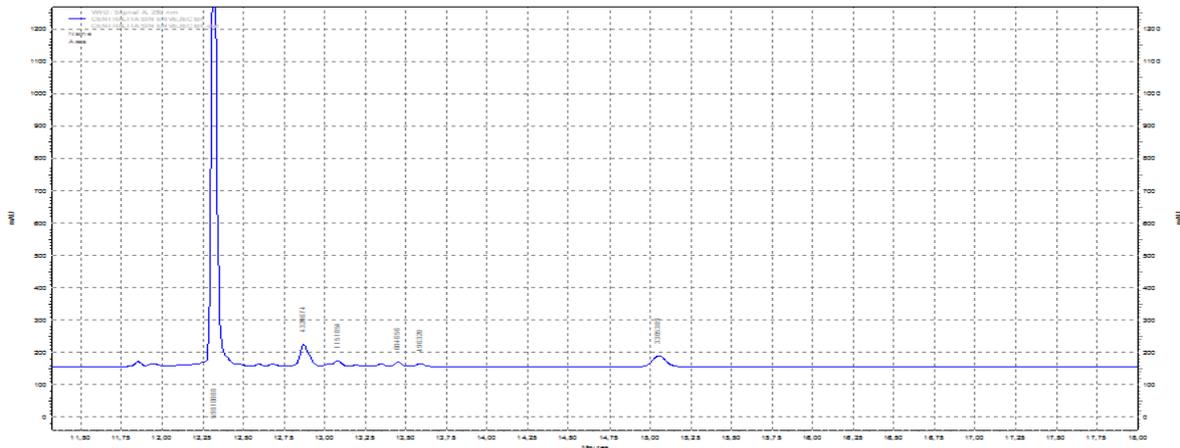


Figura 4. Cromatograma Pólvora B.

	TIEMPO retención	TIEMPO relativo	AREA	AREA relativa	Concentración (mg/l)	Concentración estabilizante (%)
Disolvente	6,934	0	28987415	1		
o-nitroacetanilida	7,211	0,277	178328	0,006151911	103,6177684	0,05%
m-nitroanilina	7,287	0,353	182812	0,006306599	48,81299348	0,02%
n-nitroso-4-nitro n-etilanilina	8,073	1,139	348475	0,012021596	527,8654358	0,245%
Centralita I	9,677	2,743	1824824	0,062952285	921,6531487	0,433%
						0,75%

Tabla 6. Tiempos de retención-área-concentración pólvora B

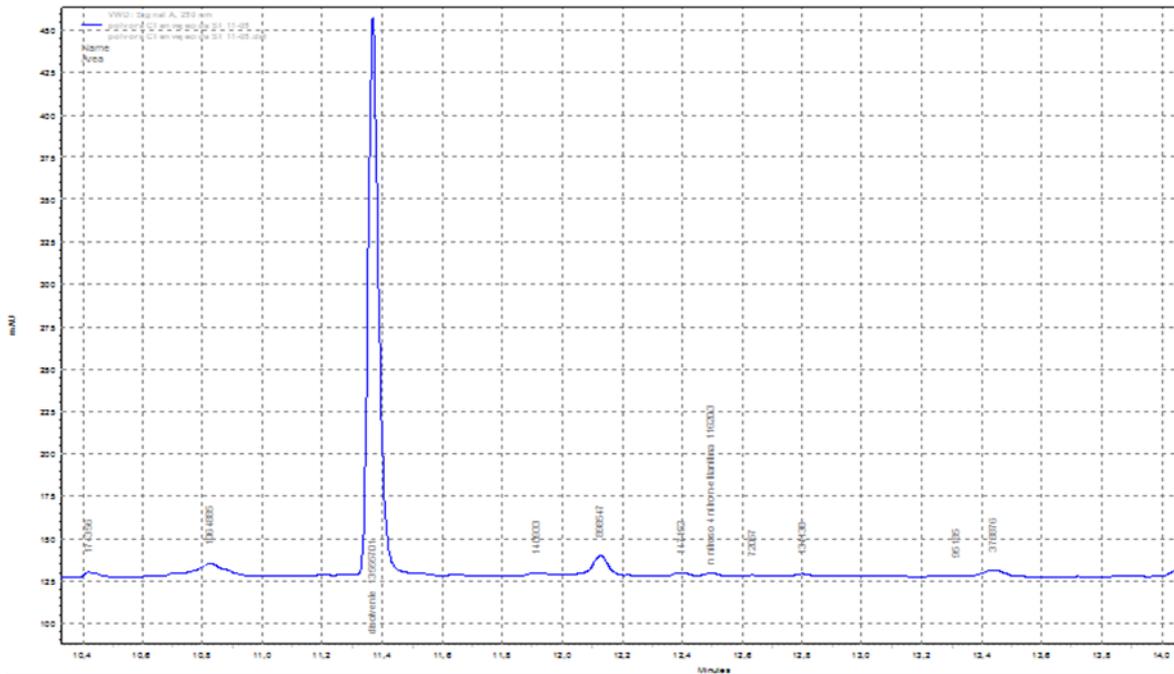


Figura 6. Cromatograma Pólvora B (envejecida)

	TIEMPO retención	TIEMPO relativo	AREA	AREA relativa	Concentración (mg/l)	Concentración en pólvora (%)
Disolvente	4,465	0	20961734	1		
n-nitroso-4-nitro n-etilanilina	5,615	1,15	52404	0,018038632	782,3619676	0,23%
Centralita I	7,217	2,752	104808	0,109437941	1608,339258	0,47%
						0,7%

Tabla 8. Tiempos de retención-área-concentración pólvora B envejecida

4. Resultados y discusión

Tras cuatro semanas de envejecimiento, se aprecia que las cantidades de los estabilizantes han sufrido los cambios previstos, una disminución del estabilizante inicial mientras se produce un aumento de los derivados.

La presencia de compuestos no conocidos en las pólvoras A y B, y sus derivados al degradarse impiden el conocimiento exacto de los cromatogramas tras el proceso de envejecimiento.

5. Conclusiones

Según el estudio realizado, el uso de HPLC para conocer el estado de degradación de los estabilizantes es un método complicado pero muy preciso. Su rápido manejo, a pesar de su dificultad de uso, permite conocer el estado de las pólvoras en poco tiempo y con gran exactitud.

Agradecimientos

Esta presentación es consecuencia del trabajo de fin de carrera realizado en la ETSIAN, por lo que quiero agradecer a mi tutor, el Dr. Manuel Laguna Iglesias, su dirección y recomendaciones en la realización del trabajo.

Deseo agradecer a la ETSIAN por darme la oportunidad y ofrecerme el equipamiento necesario para la realización del trabajo fin de carrera y, en especial, a su personal por su dedicación y ayuda aportada para la realización del estudio.

Agradecer por ultimo a Carmen Escamilla de la empresa «Agilent technologies», por su ayuda en el manejo del software asociado al equipo de HPLC.

Referencias bibliográficas

1. Grupo editorial Iberoamérica. ISBN 0-534-08142-8. «Métodos instrumentales de análisis».
2. Almirante Jefe de Apoyo Logístico. Anexo I de la instrucción permanente del DIC 01/2009 «Determinación cualitativa y cuantitativa de los estabilizantes en pólvoras de base nitrocelulósica por cromatografía líquida de alta resolución».
3. NM P-2398 EMAG (1º R) pólvoras y explosivos. «Método general de determinación de componentes por cromatografía de líquidos de altas presiones».
4. T.N. Javier López Muñoz. «Estudio de la degradación de la DFA y C-I con T/t mediante HPLC». Proyecto fin de carrera ETSIAN, Mayo 2018.

ESTUDIOS DE SIMULACIÓN Y DE CAMPO DE LA INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA BALÍSTICA DE ACERO TRATADO CON POLIUREA

Dr. D. MANUEL LAGUNA IGLESIAS

C/ Arturo Soria 287, 28033, Madrid.

mlagigl@fn.mde.es

TN (CIA-EOF) D. CALOS DE ZAVALA DÍAZ

Arsenal de Ferrol

czavdia@gmail.com

COMTE (CIP-ETO) D. JULIO R. TORTOSA DEL CARPIO

SDG. SIST. AERON. – LABINGE

D. JOSÉ ANTONIO LOYA LORENZO

UNIVERSIDAD CARLOS III

*Artículo aceptado por el Comité Científico del VI Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad 2018. Valladolid

Palabras Clave: BLINDAJE MULTILAMINAR, PROGRAMAS DE ELEMENTOS FINITOS, ACERO CON POLIUREA.

Resumen

El objetivo de este trabajo es el estudio de la influencia en la resistencia balística de un acero al ser recubierto con poliurea, con vistas a desarrollar un material compuesto multilaminar heterogéneo. Para ello se ha llevado a cabo un estudio bibliográfico, un desarrollo numérico (computacional) y el análisis de la Balística de Efectos realizada en Polígono de Experiencias.

Se utilizó el código de elementos finitos ABAQUS/Explicit con objetivo de predecir las respuestas dinámicas del material compuesto ante las cargas consideradas. Con todo lo anterior, que reúne el conocimiento básico del comportamiento de los materiales implicados que indica la manera más adecuada de cómo disponerlos y junto a la bibliografía consultada, sirvió de base para diseñar y fabricar diferentes modelos de «blindajes».

La parte experimental consistió en la preparación de probetas para la realización de ensayos balísticos, con el fin de investigar el comportamiento de los diferentes modelos frente a cargas de alta velocidad de deformación y examinar las respuestas dinámicas de las placas de acero recubiertas de poliurea. Se analizaron los efectos según los espesores de poliurea, la ubicación del recubrimiento en relación con la carga y las fuerzas de unión entre la poliurea y el acero bajo impacto de alta velocidad. De la misma manera, se pudieron comparar los resultados extraídos con los calculados numéricamente.

1. Introducción

A lo largo de toda la historia se han desarrollado episodios que marcaron el curso de la humanidad. Citemos ejemplos, como la I y II Guerra Mundial, pues además de ocasionar cambios significativos a nivel mundial, permitió que aspectos como las municiones y otros recursos de ataque o defensa se perfeccionaran.

Durante los últimos años, científicos e ingenieros han mostrado un creciente interés por la solución de problemas relacionados con el impacto de sólidos. Se trata de una disciplina ampliamente estudiada sobre todo

en el campo militar (vehículos terrestres, aeronaves o protección personal). Los avances en el desarrollo de armas y municiones de gran capacidad de penetración han supuesto la imposibilidad de los materiales tradicionales de protección para afrontar con éxito estas nuevas amenazas.

En resumen, durante siglos las personas han tratado de protegerse de cualquier elemento que pueda suponer una amenaza, como los proyectiles. Estas protecciones han evolucionado desde escudos hechos de cuero o de madera, a los de acero, con metales especiales, etc. Esta progresión se ha producido conforme ha ido evolucionado también el tipo y la velocidad de los proyectiles utilizados en el combate.

Como punto de inicio podemos decir que existe la necesidad ineludible de la búsqueda de nuevos materiales que sean capaces de satisfacer los requerimientos de diseño y fabricación de estructuras más ligeras, a la vez que resistentes. El tipo de protección requerida es acorde al tipo de proyectiles que se esperan recibir. Actualmente la protección se basa en protegerse frente a proyectiles de alta velocidad o de gran capacidad de perforación.

Los materiales compuestos multicapa abren nuevas posibilidades a la hora de conseguir prestaciones inalcanzables para los materiales tradicionales. La utilización de materiales de distinta naturaleza, combinados a una escala adecuada y con una organización jerárquica de sus componentes da lugar a la aparición de propiedades no cubiertas por los materiales tradicionalmente empleados en diversas ramas de la ingeniería. [1,2]

2. Desarrollo

Para realizar este trabajo se van a emplear varios materiales, cada uno con sus propiedades, y una vez estudiadas sus capacidades por separado, ver cómo combinarlos para finalmente extraer alguna posible conclusión acorde a los resultados obtenidos.

El desarrollo de este trabajo consiste en el estudio de la influencia en la resistencia balística de un acero al ser recubierto con poliurea, con vistas a desarrollar un material compuesto multilaminar heterogéneo. Para ello se ha llevado a cabo un estudio bibliográfico, un desarrollo numérico (computacional) y el análisis de la Balística de Efectos realizada en Polígono de Experiencias.

Para poder tener un mejor conocimiento de la colocación de los distintos elementos que forman un material compuesto, una buena solución es simularlo con un programa informático de elementos finitos. Utilizaremos el código de elementos finitos ABAQUS/Explicit.

Con todo lo anterior, que reúne el conocimiento básico del comportamiento de los materiales implicados que indica la manera más adecuada de cómo disponerlos, y junto a la bibliografía consultada, nos sirve de base para diseñar y fabricar diferentes modelos de «blindajes».

Para los modelos que se van a fabricar, vamos a buscar algún blindaje con el que contemos en la Armada y que podamos usar como referente para poder realizar nuestro estudio, teniendo en cuenta los materiales que disponemos a nuestro alcance. De esta manera poder fabricar un material compuesto lo más parecido posible a ese blindaje. Las fragatas tipo «Santa María» cuentan con puestos de tirador en los alerones. En estos puestos van montados unos manteletes con el fin de dar seguridad a los tiradores en caso de recibir disparos de armas de pequeño y mediano calibre.

La elección de los prototipos a fabricar es una de las cosas que se nos plantea al comenzar este trabajo. Una vez tenemos decididos los elementos que vamos a utilizar (acero y poliurea) y el espesor que queremos que

tengan nuestro material compuesto, lo siguiente es desarrollar varios tipos de composiciones para, de esta forma, poder extraer resultados.

Antes de comenzar a realizar los ensayos en el programa computacional, debido a la experiencia, a las distintas fuentes bibliográficas consultadas [3,4] y a la complejidad en el uso de este tipo de programas, debemos y tenemos que tener muy presente a la hora de analizar los resultados obtenidos que existen numerosos factores (tipo de mallado, forma geométrica del proyectil y del blanco, caracterización del material, etc.) que pueden alterar los resultados dando valores completamente dispares.

Conforme a los resultados obtenidos en la parte computacional y el estudio bibliográfico llevado a cabo, se fabrican siete modelos de combinaciones distintas entre acero y poliurea.

La parte experimental consiste en la preparación de probetas para la realización de ensayos balísticos, con el fin de investigar el comportamiento de los diferentes modelos frente a cargas de alta velocidad de deformación y examinar las respuestas dinámicas de las placas de acero recubiertas de poliurea. Se analizan los efectos según los espesores de poliurea, la ubicación del recubrimiento en relación con la carga y las fuerzas de unión entre la poliurea y el acero bajo impacto de alta velocidad. De la misma manera, se pudieron comparar los resultados extraídos con los calculados numéricamente.

3. Listas, figuras y tablas

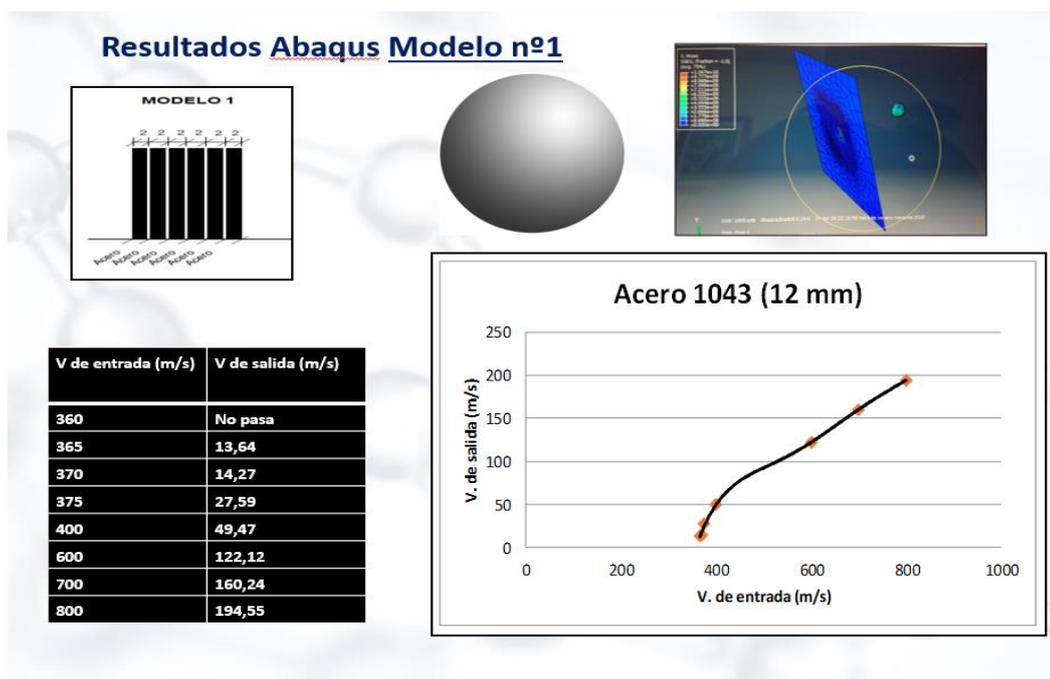


Figura 1. Representación gráfica y animada de resultados del ABAQUS del modelo nº 1 (Acero multicapa 12 mm) [5]

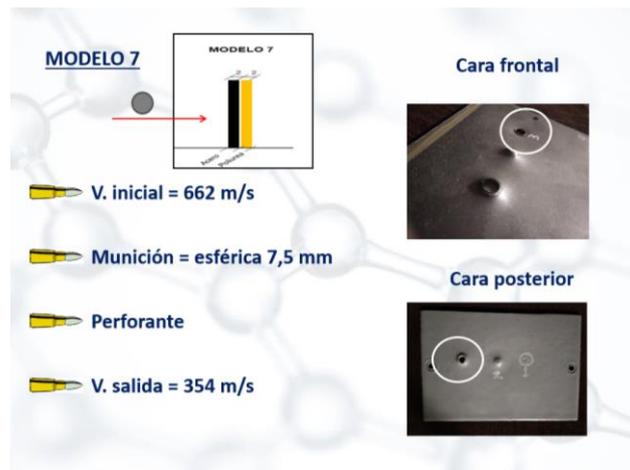


Figura 2. Resultados obtenidos en la parte experimental correspondiente al modelo nº 7 (2 mm de espesor de acero AISI 1043 + 2mm de espesor Poliurea) [5]

(12 mm) $V_0 \approx 800\text{m/s}$	MODELO 1	MODELO 2
Peso	<p>Materiales</p>  <p>■ Acero ■ Poliurea</p>	<p>Materiales</p>  <p>■ Acero ■ Poliurea</p> <p>↓ 28,3 %</p>
Penetración	<p>Profundidad del orificio $\approx 7\text{mm}$</p> <p>Deformación de la chapa en su parte posterior 1,2 mm</p>	<p>Profundidad del orificio $\approx 8\text{mm}$</p> <p>Deformación de la chapa en su parte posterior 1,8 mm</p>
Perforación	NO	NO
Sellado	NO	SI
Resistencia (F_r) ⁷	$\approx 78 \times 10^3 \text{ N}$	$\approx 74 \times 10^3 \text{ N}$

Figura 3. Resultados y comparación entre los modelos nº 1 y 2 (modelo de acero monolítico y modelo multicapa de acero y poliurea) [5]

4. Resultados y discusión

Finalmente, después de todo lo desarrollado en este trabajo, procedemos a comparar, analizar y comprobar los efectos en la resistencia balística de acero tratado con poliurea.

5. Conclusiones

Según el estudio realizado, el uso de la poliurea como material de refuerzo en acero en un material multilaminar posee una gran capacidad de resistencia al impacto. Comparado un material formado por acero frente al acero multilaminar con poliurea, estamos hablando casi de la misma resistencia al impacto habiendo reducido gran porcentaje del peso con respecto al material de partida o, dado el caso, de un posible blindaje.

Se ha comprobado que la poliurea presenta muy buenas capacidades de absorción de energía y resistencia al impacto gracias a su resistencia a la tracción, y sobre todo de elongación, confiriendo una recuperación extrema al sufrir un impacto. Podemos pensar, de la misma manera, que se comporta bien protegiendo a las superficies del desgaste.

Tal y como logramos deducir en la parte computacional, y de la misma manera que también lo avala la bibliografía consultada [3], hemos verificado que es más efectivo el uso de la poliurea como revestimiento en la cara frontal de un material que en su cara opuesta para las condiciones experimentales realizadas. En nuestros ensayos hemos podido observar como este hecho produce una disminución de la velocidad de salida bastante considerable al absorber gran parte de la energía. (Si vemos los resultados obtenidos al hacer el ensayo entre el modelo nº 6 y el modelo nº 7 del proyecto fin de carrera [5], la velocidad de salida aumenta en más de 100 m/s al colocar la poliurea en la cara posterior).

Agradecimientos

Esta presentación es consecuencia del trabajo fin de carrera realizado en la ETSIAN, por lo que quiero agradecer a mi tutor, el Dr. Manuel Laguna Iglesias, por sus consejos durante todo el trabajo

Deseo agradecer a la ETSIAN por darme la oportunidad de hacer este trabajo de fin de carrera, con el que culmina mi formación como alumno de esta escuela. A todo el personal de la ETSIAN por todos los medios aportados así como las gestiones realizadas, y más concretamente al Sr. Luis Zarantón, por su constante predisposición y buen hacer durante la realización de todo el proyecto.

Por su orientación, disponibilidad, atención a mis consultas sobre el programa de simulación ABAQUS, y por cedernos las instalaciones del Laboratorio de Impacto en Estructuras Aeronáuticas de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), un agradecimiento especial a D. José Antonio Loya.

Agradecer al Comandante D. Julio Tortosa del Carpio, Ingeniero de Armamento y Construcción, por ser uno de los promotores del proyecto. A Yolanda Suárez, Gerente de ARTLUX EUROPA, responsable de la elección del tipo de poliurea y de la proyección de la poliurea sobre las planchas.

Referencias bibliográficas

1. Dr. M. Laguna y AJ. Vázquez. «Estudio preliminar sobre la resistencia al impacto de un material multilaminar», 1998.
2. T.N. Alejandro de Ory Guimerá. «Blindajes – Optimización de blindajes para munición de armas ligeras». Proyecto fin de curso ETSIAN, Mayo 2016.
3. Chien-Chung Chen. «A study of blast effects on polyurea coated steel components». The Pennsylvania State University, The Graduate School College of Engineering 2009.
4. C.Z.Duan, T.Dou, Y.J.Cai, Y.Y.Li, «Finite Element Simulation and Experiment of Chip Formation Process during High Speed Machining of AISI 1045 Hardened Steel» International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 1, No. 5, May 2009.
5. T.N. Carlos De Zavala Díaz. «Estudios de simulación y de campo de la influencia en la resistencia balística de acero tratado con poliurea». Proyecto fin de carrera ETSIAN, Mayo 2018.

ESTUDIO CUALITATIVO DE LOS ESTABILIZANTES Y SUS POSIBLES ESTADOS DEGRADADOS DE PÓLVORAS DE USO CORRIENTE EN LA ARMADA*

Dr. D. MANUEL LAGUNA IGLESIAS

C/ Arturo Soria 287, 28033, Madrid.

mlagigl@fn.mde.es

TN (CIA-EOF) D. Manuel Pérez-Pardo Blanco

Arsenal de las Palmas

mperbl2@fn.mde.es

*Artículo aceptado por el Comité Científico del VI Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad 2018. Valladolid

Palabras clave: factor de retención, eluyente, estado degradado.

El objetivo del trabajo se basó en:

- Aplicar la técnica de Cromatografía en capa fina como criterio de identificación de sustancias, conociendo su técnica, sus características y los factores que intervienen.
- Análisis cualitativo de pólvoras por cromatografía de capa fina. El estudio y técnica de la degradación de las pólvoras, con diferentes patrones.
- Calcular los valores del factor de retención de varias sustancias, correlacionarlo a la selección adecuada del eluyente y deducir la relación que existe entre la polaridad de las sustancias que se analizan y la de los eluyentes utilizados.

1. Introducción

La cromatografía en capa fina, llamada TLC¹, es una técnica simple y económica, ampliamente utilizada para el análisis cualitativo de mezclas de compuestos orgánicos. La técnica se basa en la separación de las sustancias que componen una mezcla, cuando emigran sobre una capa de adsorbente depositada sobre una placa cromatográfica al ser arrastradas por un eluyente.

La cromatografía sobre papel es muy versátil y sus métodos se emplean con mucha frecuencia, pero su uso se limita a separaciones sobre celulosa, ya que otros medios adsorbentes, como alúmina y gel de sílice, no pueden prepararse en forma de tiras. Esta dificultad puede superarse fabricando capas finas de estas sustancias sobre placas de vidrio. Las capas finas preparadas sobre vidrio se denominan cromatoplacas o placas simplemente².

Los factores que influyen a la Cromatografía de Capa Fina:

- La cromatografía debe realizarse en un área en el que no haya corrientes de aire.
- Temperatura. A una temperatura menor las sustancias se adsorben más en la fase estacionaria.
- Pureza de los disolventes.

¹ TLC = Thin Layer Chromatography.

² Ref.18: Introducción a la cromatografía. David Abbot y R.S. Andrews.3ª Edición, Alhambra.

- Limpieza de placas. Muchas placas están contaminadas con grasa, agentes plastificantes. Éstas deben limpiarse corriendo una mezcla de metanol, cloroformo y posteriormente dejar secar hasta que se evapore la mezcla antes de aplicar la muestra.

2. Desarrollo

Durante el desarrollo del trabajo se cumplieron todas las normas militares sobre el análisis cualitativo de pólvoras por cromatografía de capa fina. El objeto de este trabajo es hacer un estudio sobre las aplicaciones que el análisis cromatográfico por capa fina puede tener en el campo de las pólvoras de uso en la Armada y estudiar si las pólvoras están en buen estado. Inicialmente estudiamos 3 pólvoras que ya teníamos en el laboratorio que contenían Centralita, Difenilamina y Centralita + Difenilamina, como estabilizantes.

Para ello, realizamos una parte experimental estudiando la preparación de las cromatoplacas y capilares, elección del eluyente, elección del revelador, cálculo del factor de retención «Rf» y cubeta cromatográfica.

Las cromatoplacas, en nuestro caso de gel de sílice, se deben acortar a un tamaño adecuado según el número de muestras que se le desea aplicar. Típicamente se aconseja acortar placas entre 3 y 5 mm de ancho por 10 cm de altura. Se debe marcar suavemente con lápiz para no dañar el adsorbente una línea recta a 2 cm del borde inferior, y señalar ligeramente el punto o puntos donde se va a aplicar las distintas muestras. La elección del eluyente dependerá, lógicamente, de la naturaleza del compuesto que se va a separar y del material en que la separación va a llevarse a cabo. Una regla general para la elección del disolvente es la comparación de la polaridad del mismo y de la sustancia que se desea separar. Estudiaremos el tolueno y el benceno, como eluyentes. Antes de revelar la placa debemos dejarla que seque en el aire durante al menos 10 minutos, tiempo necesario para que se evapore todo el eluyente. Estudiaremos el Reactivo de Muraour³, Sulfato de Cerio, como reveladores.

Por último, el símbolo Rf significa «Relación de Frentes» es una relación de distancias. Se expresa como el cociente entre la distancia recorrida por la sustancia, objeto de estudio, y la distancia recorrida por el eluyente hasta el frente del eluyente.

³ Recomendable, Ref.10: NM P-2603 EA. Pólvoras, reconocimiento del estabilizante (reactivo Muraour).

3. Lista, figuras y tablas.

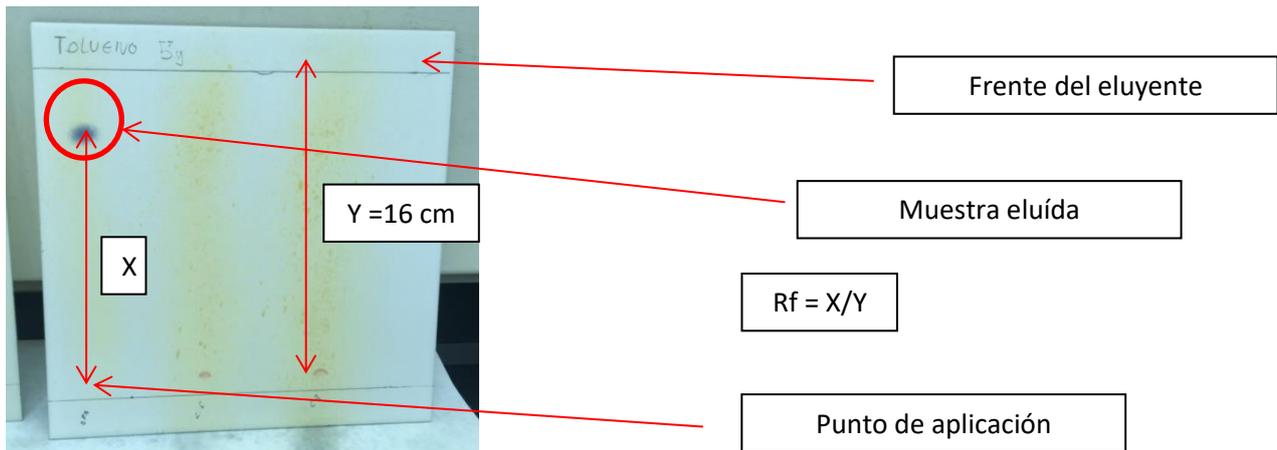


Figura 1. Cálculo de la R_f , factor de retención.

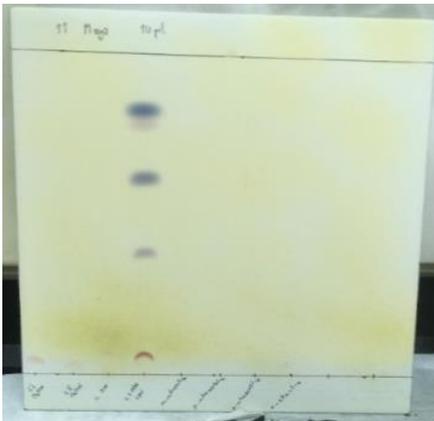


Figura 2. Patrón Cl, CII y derivados.

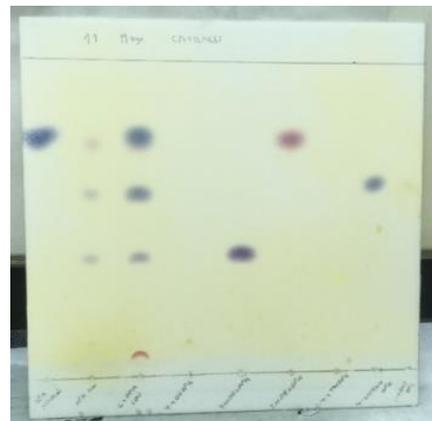


Figura 3. Patrón DFA y derivados.



Figura 4. Pólvora antes de ser disuelta.



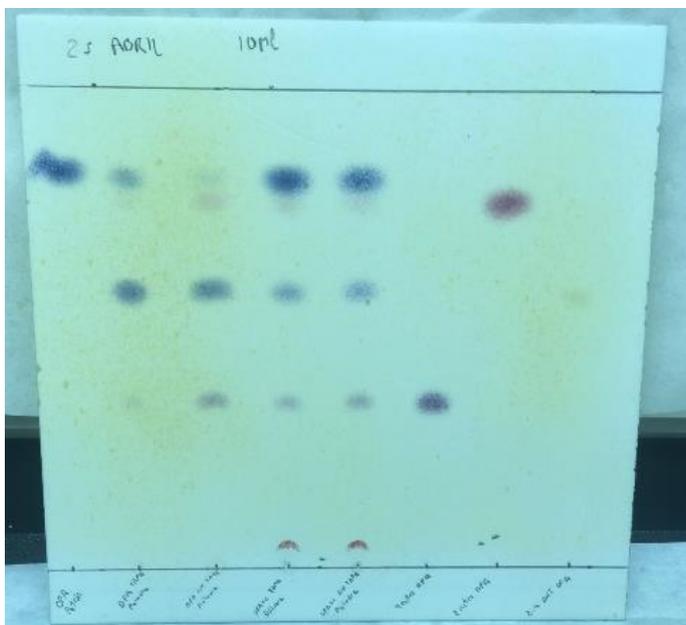
Figura 5. Pólvora antes de ser molida.



Figura 6. Muestras de Centralita, DFA, DFA + Centralita con sus respectivas muestras envejecidas a una, dos y cuatro semanas.

Tabla correspondiente al envejecimiento de la primera semana de la DFA.

Sustancia	Cantidad	Eluyente	Revelador	Rf	Tº Coloración
DFA patrón	10µl	Tolueno	Reactivo de Muraour	0,838	azul
DFA tapa	10µl	Tolueno	Reactivo de Muraour	0,838	azul
DFA tapa sin	10µl	Tolueno	Reactivo de Muraour	0,838	azul
DFA + C con tapa	10µl	Tolueno	Reactivo de Muraour	0,838	azul
DFA + C sin tapa	10µl	Tolueno	Reactivo de Muraour	0,838	azul
4 nitro DFA	10µl	Tolueno	Reactivo de Muraour	0,375	azul violeta
2 nitro DFA	10µl	Tolueno	Reactivo de Muraour	0,781	morado
2,4 DNT DFA	10µl	Tolueno	Reactivo de Muraour	0,588	



Muestra

DFA patrón

DFA con tapa pólvora

DFA sin tapa pólvora

DFA + C con tapa pólvora

DFA + C sin tapa pólvora

4 nitro-DFA

2 nitro-DFA

2,4 dinitro-DFA

Figura 7. DFA envejecida con derivados.

4. Resultados

Una vez desarrollado este trabajo, procedemos a comparar y a analizar los estados degradados de la pólvora, comprobando si es posible su uso de acuerdo con las normativas militares.

5. Conclusiones

Estudiamos los eluyentes: el tolueno y el benceno. Al haber hecho varias muestras en las cromatoplasas, sacamos como conclusión que el tiempo de elución medio del benceno es 20 minutos superior al tolueno. Además según el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la exposición al benceno es un carcinógeno (puede producir cáncer). Por otra parte la elección del eluyente depende de las sustancias que se van a separar, en nuestro caso al ser difenilamina, Centralita I y II, haremos caso a la norma NM P-2392 EMAG (1ºR). Pólvoras de base nitrocelulósica y explosivos. Análisis cualitativo de sus componentes por cromatografía de capa fina (C.C.F.) A raíz de estas conclusiones elegimos el tolueno como eluyente.

Otro factor a estudiar fue la cantidad de muestra entre 5 y 10 μl . Aunque la norma militar NM-2392 nos recomienda usar 5 μl , se apreció en las dos cromatoplasas que la mancha de muestra de 10 μl es mayor que la de 5 μl . Resulta más fácil apreciar las manchas de las muestras de 10 μl . Además, el libro de Pilar del Campo Esteban «Análisis cualitativo de pólvoras y explosivos por cromatografía de capa fina» nos aconseja usar 10 μl . Por estos motivos, elegimos 10 μl para las siguientes muestras.

A pesar de que muchos libros de Cromatografía aconsejan revelar las placas mediante luz UV, compararemos los reveladores Sulfato de Cerio y Reactivo de Muraour como nos aconseja la norma militar NM-2392 (Ref.12). En ambos casos, tanto la DFA como la Centralita la norma nos aconseja usar el Sulfato de Cerio. No obstante, viendo los resultados obtenidos elegimos el Reactivo de Muraour, debido a la claridad de la cromatoplasa. Al tener el Sulfato de Cerio una alta densidad y dejando una gran mancha en la cromatoplasa descartamos este revelador. Por otra parte la norma militar NM P-2603 EA. Pólvoras, reconocimiento del estabilizante (reactivo Muraour) (Ref.11), nos aconseja como reconocimiento cualitativo en pólvoras como centralita y difenilamina el uso de Reactivo de Muraour. Elegimos el Reactivo de Muraour como revelador por los buenos resultados obtenidos.

6. Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado bajo la supervisión de mi tutor, el Dr. Manuel Laguna Iglesias, quien me ha guiado y ha hecho posible la realización de este estudio. Agradecer el tiempo y dedicación al personal de la Escuela Superior de Ingenieros de Armas Navales, en especial al Sr. Luis Zarantón García y a la Sra. María Rosa López de Armentia Aisa.

Y por último, a todos los profesores militares y civiles por el conocimiento aportado para la realización de este trabajo.

Referencias bibliográficas

Ref.1: Reglamento de pólvoras, explosivos y municiones para buques, fuerzas y dependencias.

Ref.2: NM-3020. Propulsantes de base nitrocelulósica estabilizados con difenilamina y/o centralitas. Calificación de la estabilidad química en función del contenido estabilizante.

Ref.3: Rouseauc, F. y Rouseauc, A. (2000). Análisis Químico. España: McGrawHill.

Ref.4: Instrucción permanente Dic 01/2009 de 4 de Junio del Almirante Jefe de Apoyo Logístico sobre reconocimientos químicos de las pólvoras de la Armada.

Ref.5: NM P-2603 EA. Pólvoras, reconocimiento del estabilizante (reactivo Muraour).

Ref.6: NM P-2392 EMAG (1ºR). Pólvoras de base nitrocelulósica y explosivos. Análisis cualitativo de sus componentes por cromatografía de capa fina (C.C.F.)

Ref.7: NME-2778. Edición 2016. Propulsantes sólidos de base nitrocelulósica. Preparación de muestras para análisis de componentes. Método de disolución y precipitación.

Ref.8: NME-2360. Edición 2016. Propulsantes sólidos de base nitrocelulósica. Métodos de ensayo y criterios de calificación para la recepción o control del almacenamiento mediante envejecimiento acelerado a una o varias temperaturas. Método del estabilizante residual.

Ref.9: NME-3020. Edición 2017. Propulsantes de base nitrocelulósica estabilizados con difenilaminas y/o centralitas. Calificación de la estabilidad química en función del contenido de estabilizante.

Ref.10: NM D-85 EMA (1ºR). Difenilamina.

Ref.11: NME-2018. Edición 2017. Clasificación y nomenclatura de los propulsantes sólidos (pólvoras).

USO DE REDES NEURONALES COMO TÉCNICA DE CLASIFICACIÓN DE EVENTOS A BORDO SOBRE DATOS DE SICP

AN (CIA-MOEOF) D. FRANCISCO LAMAS LÓPEZ

Doctor Ingeniería Geotécnica

Arsenal de Cartagena-CESADAR

(Centro de Supervisión y Análisis de Datos de la Armada)

Contacto: flamlop@mde.es

Resumen: La Armada Española se encuentra inmersa en la digitalización de sus procesos logísticos desde el diseño, construcción y ciclo de vida hasta el mantenimiento de sus unidades. Esto permitirá la automatización y predicción de las tareas de mantenimiento basado en la condición. El desarrollo de herramientas ligadas al mantenimiento predictivo estará centrado no solamente en los datos obtenidos en el CESADAR sino también por otros sistemas como los ligados al control de configuración de equipos embarcados.

Este estudio exploratorio muestra como la información de ambos dominios, comportamiento mecánico y control de la configuración, deben ayudar a mejorar las predicciones de malfuncionamientos de un equipo. Para ello, se utilizan datos provenientes de dos motores propulsores de un buque generados desde el 2015 hasta el 2018. A partir de datos de comportamiento mecánico y análisis de los mismos pueden delimitarse modos de funcionamiento diferentes. Con estos registros y con ayuda de técnicas asociadas al aprendizaje automático, se pretende clasificar los diferentes modos de funcionamiento que afecten al normal mantenimiento de un propulsor antes de que ocurran. La predicción de distintos modos de funcionamiento de motores propulsores realizada en CESADAR-Central, puede ser de interés para las dotaciones de los buques en el caso de poder realizar las predicciones a bordo. Esto podría ayudar a prevenir modos de funcionamiento no deseados sobre los propulsores del buque durante sus operaciones.

Se puede concluir que el uso de técnicas ligadas al aprendizaje automático es un método eficaz para la clasificación de patrones de un modo de comportamiento concreto. El uso de estas herramientas a bordo puede ayudar a prevenir modos de uso no deseados en tiempo real y debe ser una ayuda efectiva a la decisión de las dotaciones en operación.

Palabras clave: mantenimiento predictivo, aprendizaje automático, ayuda a la decisión, redes neuronales, clasificación de patrones

1. Introducción

La Armada española se encuentra inmersa en la digitalización de sus procesos logísticos. Eso incluye todo el ciclo de vida de las unidades, desde su diseño hasta su uso pasando por la producción de las mismas. Esto se encuadra en el concepto de Apoyo Logístico 4.0 (AL 4.0) [1]. Los sistemas deben de ser capaces de prever su malfuncionamiento o fatiga de sus sistemas, para comenzar automáticamente a gestionar su recambio o mantenimiento. Con el principal objetivo de aumentar la seguridad a bordo y la calidad de las operaciones. La actual predicción de eventos se alimenta de los datos aportados por el Sistema Integrado de Control de Plataforma (SICP) y por el sistema de mantenimiento basado en la condición (SMBC). Estos son datos relativos a sensores instalados en los sistemas de plataforma del buque, además de las vibraciones y otros datos como análisis de aceite que son registrados diariamente en los servidores del Centro de Supervisión y Análisis de Datos de la Armada (CESADAR) situado en Cartagena [2]. El SICP es el encargado a bordo de los buques de la supervisión y el control de los sistemas de maquinaria y componentes del buque. Los datos registrados por los sensores enlazados al SICP son transmitidos diariamente al CESADAR, recibiendo este diariamente datos de sistemas monitorizados de 29 buques de la Armada.

Desde los años 90 ha habido un incremento de las técnicas de Minería de Datos como medio para obtener nuevo conocimiento [3]. Los retos asociados a la gestión de grandes volúmenes de datos empiezan a dividirse en subprocesos para hacer abordable la tarea de obtener conocimiento de ellos [4]. Diferentes métodos de clasificación y de regresión pueden utilizarse principalmente para predecir estados futuros o para clasificar estados similares de comportamiento. Los límites de estas dos principales técnicas (regresión y clasificación) no están bien definidos y a veces una red dedicada a inferir un estado futuro lo que está haciendo en realidad es una clasificación y viceversa [3]. Estos métodos de Minería de Datos con redes neuronales son aplicados en la literatura sobre sistemas monitorizados [5] para inferir modos de funcionamiento en los equipos y optimizar el mantenimiento [6]–[8]. Estas técnicas conciernen la búsqueda de modos de fallo [9], [10] o identificación de nuevos parámetros a partir de datos registrados [11]. Sin embargo, pese a la literatura existente sobre análisis de fallos en motores navales, aún no ha sido aún presentado un estudio básico sobre los parámetros mecánicos necesarios para predecir mediante técnicas asociadas a la IA (como las redes neuronales) la descompensación de funcionamiento entre los cilindros de un motor embarcado.

Con este objetivo, de predecir comportamientos de los motores propulsores embarcados, se propone diseñar una solución con la que a partir de los datos registrados por el SICP, se pueda notificar a la dotación del comportamiento esperado de su motor en los próximos instantes. En este estudio se va a reducir el problema, mostrando solamente las capacidades de predicción sobre la desviación de temperaturas de los cilindros de un propulsor, haciendo hincapié en la escalabilidad de este método a otros aspectos del comportamiento del propulsor. Para prever funcionamientos no deseados durante una operación. Por lo tanto es necesario definir parámetros mecánicos como inputs y por otro lado evaluar la eficacia según el número de parámetros utilizados de los registrados a bordo.

2. Definición del problema

En los últimos meses se ha observado que tras un período de operación de un motor propulsor, si las temperaturas de sus cilindros estaban descompensadas respecto a la media de todos ellos, esto ha llevado a cabo en varias ocasiones a defectos en la combustión, falta de potencia e incluso podría haber sido originado por fallos en el inyector de un cilindro (atomizadoras). Todo dependía de en qué medida estaban descompensadas sus temperaturas respecto de la media. Debido a esto, en CESADAR se supervisa diariamente por un analista cada uno de los propulsores que han estado en operación durante las 24 horas precedentes al análisis visual de los datos. El problema es que si realmente es un malfuncionamiento que no esté solamente conduciendo a una fatiga prematura de los materiales o componentes, sino que pueda dar un fallo inmediato de un componente, este debe ser detectado a bordo antes de que lleguen los datos a CESADAR al día siguiente.

En este estudio se van a analizar datos de dos propulsores de un buque ejemplo entre el 2015 y el 2018. Los datos extraídos directamente del SICP, sin conversión alguna por el analista son: el Índice de Cremallera (IC), las revoluciones por minuto del propulsor (RPM), la temperatura media de las dos líneas de cilindros (\bar{T}), y la temperatura de gases de escape por cilindro T_i . Estos datos son registrados con una frecuencia de muestreo $f_s = 6$ s. En el conjunto de los cuatro años mencionados se han obtenido en torno a 8M de registros. En la **Figura 2a** se expone el uso combinado de los dos propulsores. Se pueden distinguir principalmente tres modos de uso combinado cuando no están apagados ambos (0,0).

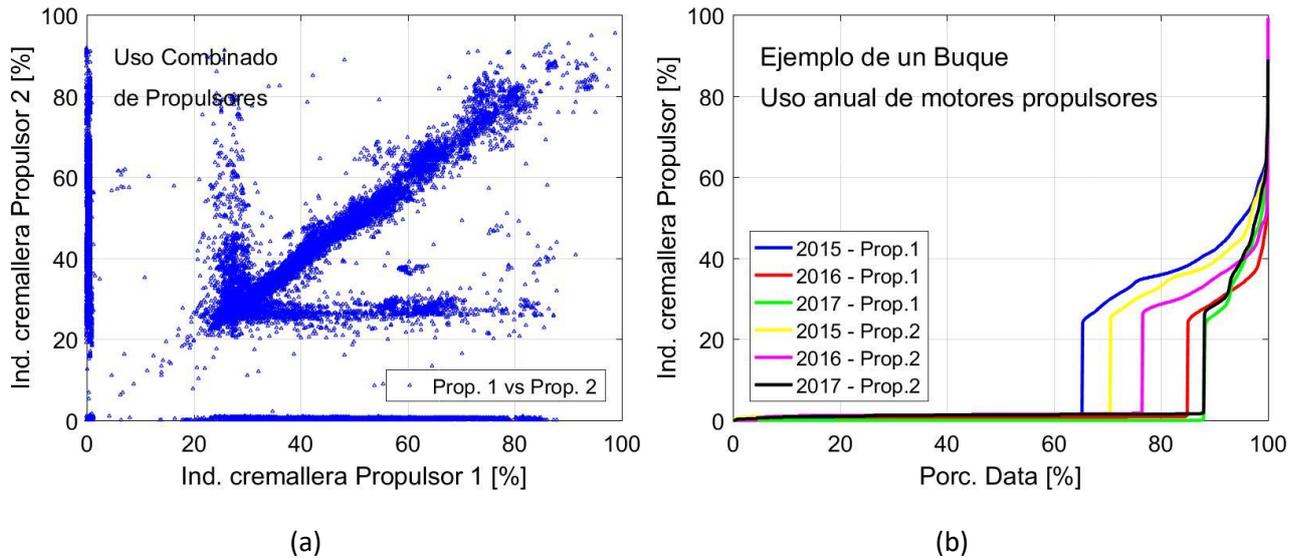


Figura 2. (a) Uso combinado y (b) Uso anual en buque ejemplo de los propulsores 1 y 2 en el período 2015-2017

El primer modo combinado conlleva utilizar solamente uno de los dos, pero siempre a partir del 30% del *IC*. Este índice representa la relación de potencia demandada al propulsor en porcentaje (%). En el segundo modo se aprecia que se utiliza uno de los propulsores con una relación de potencia (o *IC*) fija del 30% mientras que el otro puede funcionar con un *IC* del 30% al 100%. El último modo es el relativo a un uso de los dos propulsores a la misma relación de potencia, siempre mayor del 30%.

Respecto al total de datos registrados, en la **Figura 2b** se aprecia que hasta un 40% de los mismos representan tiempo de operación de los propulsores. En ellos se pueden apreciar diferencias de uso entre propulsores (similar uso para un mismo año) y sus diferencias anuales de uso en este barco ejemplo en cuestión. Se aprecia igualmente en la **Figura 2b** que la mayor parte del tiempo de operación ($TO > 80\%$) se realiza entre el 30% y el 42% de *IC*. Sin embargo, la respuesta del propulsor ante un comando de *IC* concreto no se desarrolla siempre de la misma manera y depende múltiples factores externos. Para un determinado *IC* las *RPM* del eje, o rendimiento del propulsor, pueden variar en función de variables ambientales del entorno donde se navega, del estado del casco (escaramujo, pesos, etc.) y del estado del motor en un momento dado. Esto último puede apreciarse en la **Figura 3**. Se ilustra igualmente que la curva es similar para ambos propulsores en el intervalo de tiempo representado.

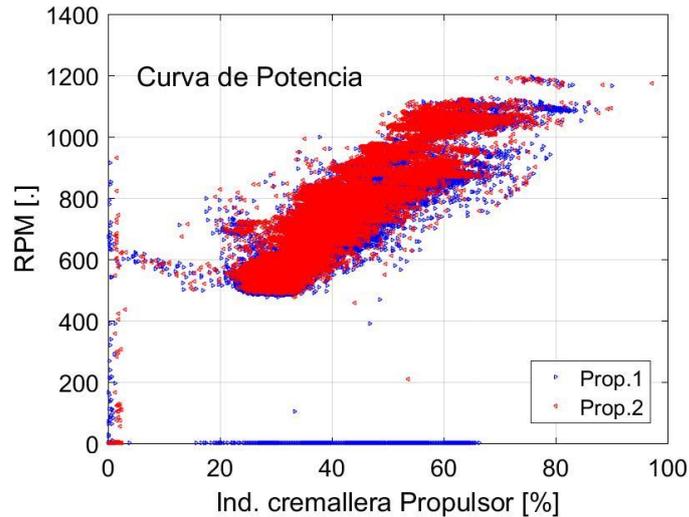


Figura 3. IC vs RPM en buque ejemplo

Las RPM del motor van de 500 a 1200 RPM en el rango de tiempo representado en la **Figura 3**. Llega a haber diferencias de en torno a 200 RPM en la respuesta para un IC concreto. Con todo lo anterior, se puede extraer que el rendimiento de los propulsores va a venir influenciado en la manera que se les de uso de forma combinada a lo largo del tiempo. El uso de un modo u otro va a impactar en el rendimiento final y eso va a ser visible en el resto de variables del propulsor registradas por SICP. De entre las más de 200 variables registradas por SICP de cada propulsor, hay una a la que se le presta especial atención diariamente, como indicador del correcto funcionamiento del mismo, esta es la temperatura de gases de escape de cada uno de los cilindros (T_i). El propulsor del buque ejemplo está compuesto por dos líneas (A y B) de 8 cilindros cada una. A partir de lo expuesto en la **Figura 4** se aprecia que el comportamiento de los cilindros adyacentes en cada una de las líneas evoluciona de forma análoga en el rango de temperaturas medias $\bar{T} > 250$ °C, $\bar{T}_{A,B} = (250, 250)$. Se deben tener en cuenta ambas líneas en los cálculos.

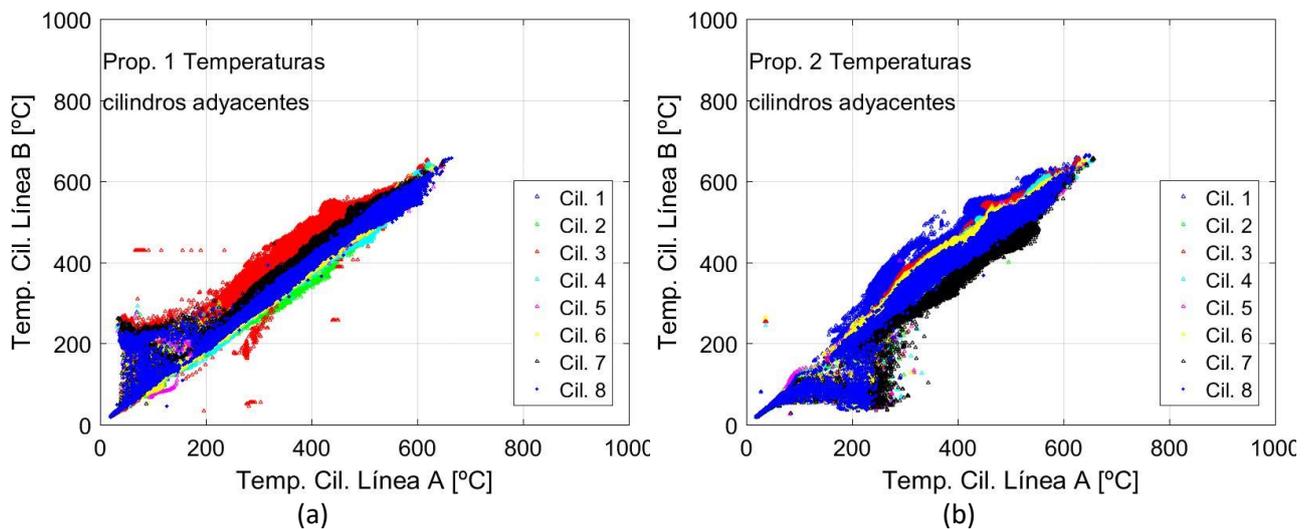


Figura 4. Temperatura de gases de escape en cilindros adyacentes (a) propulsor 1 y (b) propulsor 2

A mayor abundamiento, las temperaturas medias de gases de escape (\bar{T}) evolucionan de una forma cuasi-lineal a partir desde $IC=40\%$ (**Figura 5a**). Se pueden distinguir dos regímenes de evolución de temperaturas

medias en ambos propulsores, de $550^{\circ}\text{C} > \bar{T} > 300^{\circ}\text{C}$ para IC comprendidos entre 25 y 40 %, y de $600^{\circ}\text{C} > \bar{T} > 550^{\circ}\text{C}$ para IC comprendidos entre 40 y 100 %. La variabilidad de temperaturas medias de gases de escape del primero de los dos conjuntos se aprecia de forma más notable.

Para realizar una clasificación de eventos, se va a utilizar un parámetro calculado a partir de las variables registradas, que pueda integrar el efecto de las anteriores [12], como en otros casos de clasificación de eventos [13]. En CESADAR se observa diariamente si los cilindros de un motor presentan desviaciones mayores a 100°C por cilindro respecto a la media, o si entre el cilindro de mayor y menor temperatura hay excesiva diferencia. Para ello se ha descrito un parámetro, denominado desviación de temperaturas acumulado, que representa las diferencias absolutas de cada cilindro respecto a la media y es directamente proporcional a lo observado diariamente en CESADAR. Calculado según (1) y (2):

$$\Delta T_i = ABS \left(T_i - \frac{\sum_{i=1}^{16} T_i}{n} \right) = ABS(T_i - \bar{T}) \quad (1)$$

$$(\sum \Delta T_i) = (\sum_{i=1}^{16} \Delta T_i) \quad (2)$$

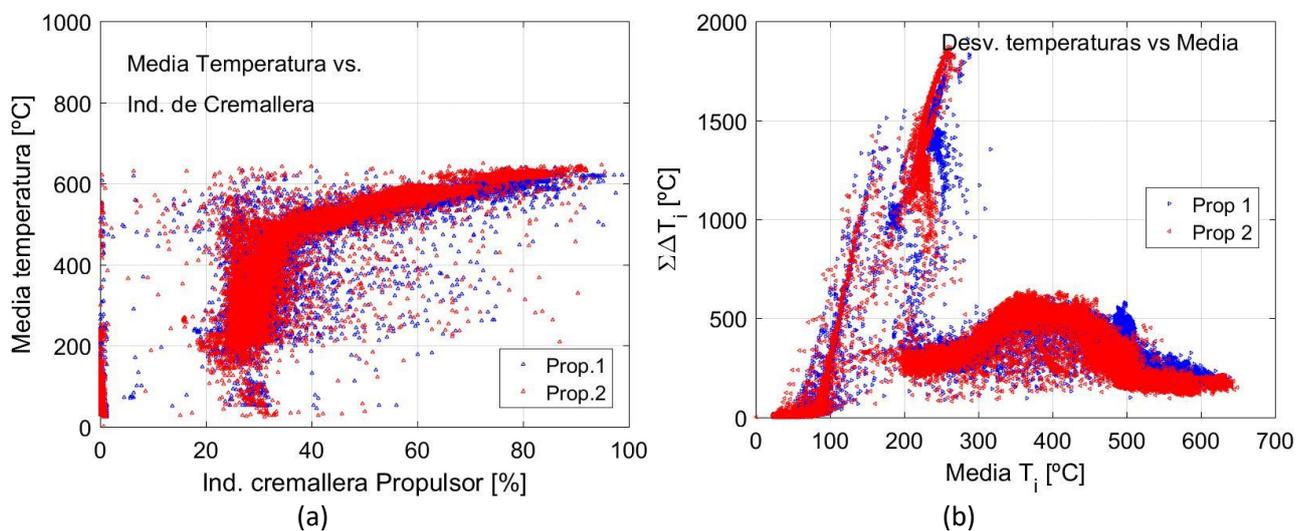


Figura 5. (a) Media de temperaturas de gases de escape por cilindros vs. IC y (b) Desviación de temperaturas vs media de temperaturas en propulsores 1 y 2

Al representar la desviación de temperaturas acumulada respecto a la media (**Figura 5b**), se observa un pico para temperaturas medias $\bar{T} > 250^{\circ}\text{C}$ que no se repite a lo largo del resto de temperaturas medias registradas en ambos propulsores. Mayores temperaturas medias corresponden a mayores IC , en los que se comporta de forma más estable el motor, con menos descompensaciones. Hay un incremento no tan notable como en el rango de $250\text{-}300^{\circ}\text{C}$, cuando los cilindros del motor se encuentran en torno a 400°C de media. Este último caso, aún en la región inestable del motor, con $IC < 40\%$ (**Figura 5a**). Un hecho a destacar, es gran parte de desviaciones de temperaturas se produce cuando el eje del propulsor está rotando a $RPM=500$, lo que suele estar aparejado a $IC \approx 30\%$ (**Figura 6**). Del mismo modo, se aprecia en la (**Figura 7**) que cuando el IC disminuye de máximo alcanzado, la desviación de temperaturas alcanzada es menor, con lo que esto conlleva en menor desgaste del motor a largo plazo debido al funcionamiento en su rango óptimo de temperaturas, RPM e IC .

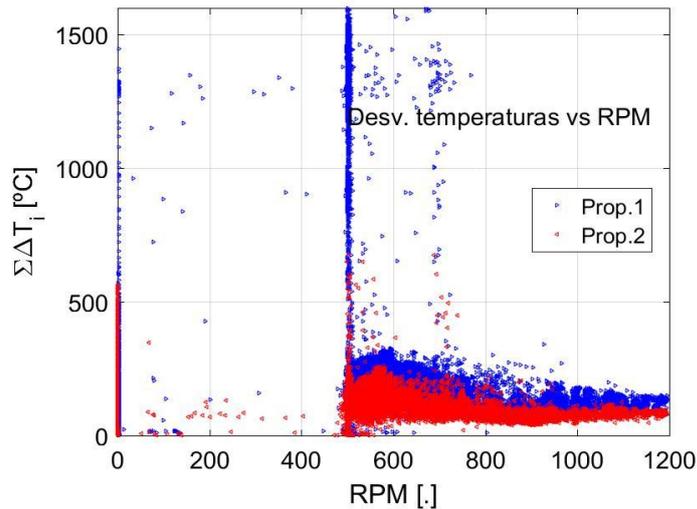


Figura 6. Desviación de temperaturas vs RPM para los propulsores 1 y 2

Se puede describir que la mayor parte de operaciones de los propulsores se realizan con IC de entre 30% y 60%. Al ver la **Figura 7**, se aprecia la necesidad de ligar los datos mecánicos (como los presentados) a los de la configuración logística de los propulsores, con el fin de poder determinar si un propulsor no se utiliza en una fecha concreta debido a un mantenimiento programado, por avería o por la no necesidad del mismo en una operación concreta.

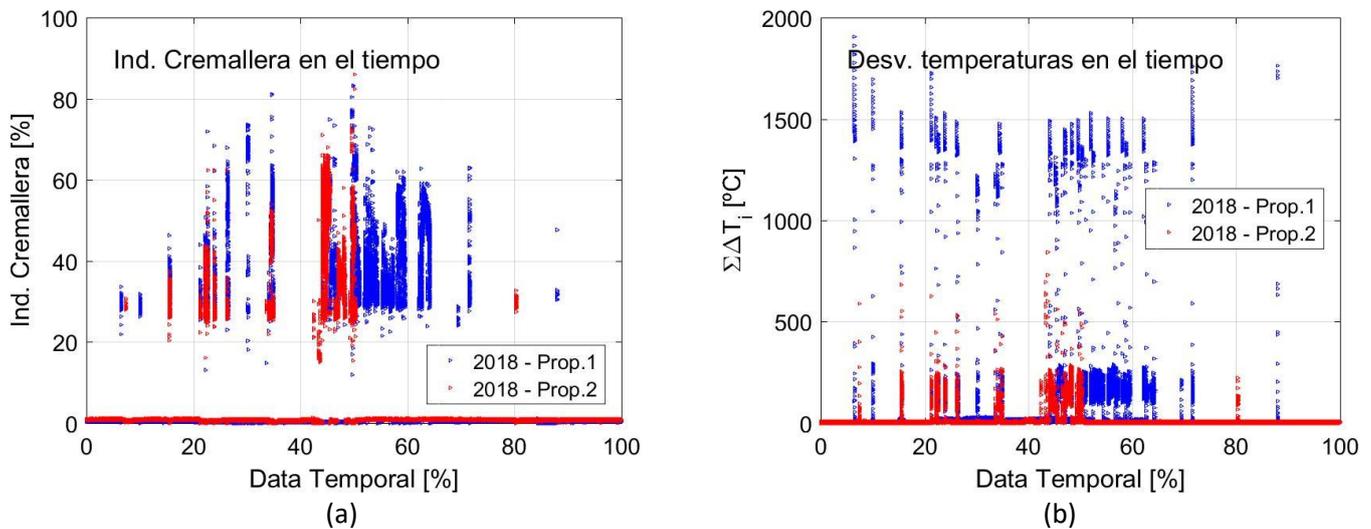


Figura 7. Datos temporales en 2018 de (a) IC y (b) Desviación de temperaturas

3. Red neuronal de clasificación

La ciencia de datos es una rama de la inteligencia artificial (IA) en la cual se busca que un sistema sea capaz de aprender de datos que pueden ser usados para hacer predicciones, reconocer patrones de comportamiento, simulaciones de variables presentes en la realidad y clasificaciones de datos de entrada a los métodos [14]. El aprendizaje de este sistema artificial a la hora de clasificar patrones o hacer una regresión puede ser supervisado (un agente externo da información extra sobre las respuestas a obtener) o reforzado

según indicadores externos (el agente externo indica si se está haciendo el trabajo bien o mal) [15]. Según [15] el proceso empieza desde el análisis de las BBDD, extracción de parámetros, reducción de dimensionalidad, predicción y validación para utilización de los resultados del análisis.

Las redes neuronales son un modelo computacional compuesto por neuronas artificiales dispuestas tal como se observa que funcionan en un cerebro para evaluar la información recibida. El modelo de neurona artificial de *McCulloch-Pitts* es una unidad de cálculo que intenta modelar el comportamiento de una neurona "natural", similares a las que constituyen del cerebro humano. Una red está formada por un conjunto de neuronas de entrada (donde se introducen los valores de los parámetros de entrada para cada medida), capas sucesivas de neuronas ocultas y una última capa de neuronas de salida. Cada conexión entre neuronas de capas adyacentes (**Figura 8**) está ponderada por un peso y son activadas mediante un peso externo denominado umbral de activación. La función que aplica una neurona sobre los datos de entrada y los pesos se denomina función de transferencia y es no lineal. La importancia de esta función es que su derivada sea siempre positiva y cercana a cero para los valores grandes positivos o negativos; además toma su valor máximo cuando $x=0$. Esto hace que se puedan utilizar las reglas de aprendizaje en las cuales se usan derivadas. Por eso, una de las funciones de transferencia más utilizadas es la sigmoide, cuyas derivadas son sencillas utilizando la regla de la cadena. Los pesos que intervienen sobre cada conexión (w_{ij} desde la neurona i en la capa anterior hasta la neurona j de la siguiente capa) son automáticamente ajustados iterativamente mediante alimentación progresiva si las neuronas están conectadas con otras del siguiente nivel. Lo interesante de que la estructura no tenga ciclos es que permite realizar el cálculo uniformemente, desde las unidades de entrada hasta las unidades de salida.

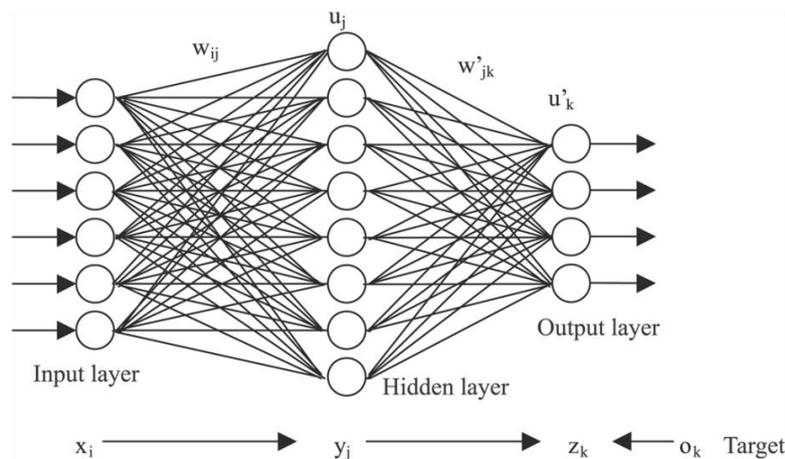


Figura 8. Ejemplo de red neuronal con 6 neuronas de entrada, una capa oculta con 8 neuronas y 4 neuronas de salida

El método utilizado, para hacer converger los pesos, en redes dedicadas a clasificar patrones de comportamiento es una función de entrenamiento que actualiza los valores de peso acorde al gradiente escalado conjugado (*scaled conjugate gradient method*) [16]. Para las redes de clasificación habrá tantas neuronas de salida como posibles patrones de comportamiento se consideren. En función de la salida (1 para la correcta, 0 para el resto) se determina como clasificar un grupo de valores de entrada dados. Como ejemplo para mostrar cómo se calibran los pesos asociados a cada par de neuronas, se tendrá en cuenta una red de 4 capas (una de entrada, dos ocultas y una de salida) para ver las expresiones en su forma desarrollada. En este método los pesos, ligando cada dos neuronas en capas adyacentes, se ajustan siguiendo la ecuación (3).

$$\frac{\partial y_i}{\partial \omega_{jk}^{(1)}} = x_j a_k^{(2)} (1 - a_k^{(2)}) \cdot \left[\sum_{p=1}^{n_2} \omega_{kp}^{(2)} a_p^{(2)} (1 - a_p^{(2)}) \omega_{pi}^{(3)} \right] \cdot y_i (1 - y_i) \quad (3)$$

Esta ecuación generalizada es la expresión con la que se determina el diferencial de la salida de la neurona i (en una cuarta, y última, capa) respecto al peso que une la neurona j de la primera capa (entrada) y la neurona k en la segunda capa (oculta). El sumatorio de los productos indicados indica que hay que contemplar todos los caminos posibles desde la salida y_i hasta la neurona de entrada x_j . En este caso las entradas a la red se representan como x , y las salidas, o resultados, como y . Las entradas son cada uno de los parámetros escogidos para alimentar la red. Cada neurona tiene asociado además de un peso (que une dos neuronas de capas sucesivas), un umbral de activación. Si se realiza el diferencial respecto el umbral asociado a cada neurona de las capas ocultas (u_i), el resultado se muestra en la ecuación (4).

$$\frac{\partial y_i}{\partial u_i^{(2)}} = a_k^{(3)} (1 - a_k^{(3)}) \omega_k^{(3)} y_i (1 - y_i) \quad (4)$$

En cambio, si en vez de ser sobre el umbral, la diferencial de la expresión de salida y_i sobre el peso que une dos neuronas situadas entre la tercera y cuarta capa sería la mostrada en la ecuación (5).

$$\frac{\partial y_i}{\partial \omega_{jk}^{(2)}} = a_j^{(2)} a_k^{(3)} (1 - a_k^{(3)}) \omega_k^{(3)} y_i (1 - y_i) \quad (5)$$

El objetivo de las redes neuronales es calcular los pesos que ligan dos neuronas y los umbrales de activación, para converger hacia los resultados que se busquen en el menor número de iteraciones (épocas, *epochs*). La calidad de los pesos logrados se justifica mediante el error medio cuadrático de los resultados respecto a la salida deseada (*Mean Square Error, MSE*). El *MSE* entre el resultado obtenido y el resultado deseado se calcula mediante la expresión (4) siguiendo la regla de la cadena:

$$\frac{\partial e}{\partial \varepsilon} = \sum_{i=1}^{n_A} \frac{\partial e}{\partial y_i} \cdot \frac{\partial y_i}{\partial \varepsilon} \quad (6)$$

Siendo e el error entre las soluciones esperadas y obtenidas. Simplificando y aplicando la regla de la cadena:

$$\frac{\partial e}{\partial y_i} = -(s_i - y_i) \quad \text{ya que } e = \sum_{i=1}^{n_A} \frac{1}{2} (s_i - y_i)^2 \quad (7)$$

Las iteraciones se detienen cuando se consigue un error mínimo tras seis iteraciones seguidas sin mejorar. El conjunto de datos con el que se persigue entrenar una red neuronal se divide en tres: entrenamiento, validación y test. En la etapa de entrenamiento (en este estudio se utiliza un 65%) se persigue calibrar los pesos previo conocimiento de los resultados a obtener. En la etapa de validación (20% de los datos) se prueba con los pesos obtenidos que salida se obtiene y se corrigen los pesos con el objetivo de disminuir el *MSE*. Con el restante de datos (el 15%) se realizan test sobre la red entrenada y verificada, en los cuales ya no se varían los pesos obtenidos en las dos etapas precedentes.

4. Modos de funcionamiento y experimentación

Una vez expuestos en las secciones previas los datos a utilizar, sus particularidades, el problema a resolver y la herramienta a utilizar (redes neuronales de clasificación), en esta sección se va a detallar los distintos modos de funcionamiento que se han descrito y su justificación. Igualmente, se detallan en esta sección los distintos experimentos a realizar con los datos seleccionados. Primeramente se han descartado todos los registros que corresponden a $IC < 10\%$ en los que el motor no está operando. Los registros restantes se han discretizado en 4 modos de funcionamiento, atendiendo a una distribución lo más regular (compensada) posible entre modos. Los registros utilizados en este punto corresponden a una frecuencia de muestreo $f_s = 1 \text{ min}$, mayor respecto a la de registros brutos y reduciendo la redundancia de datos. Los límites entre valores de desviación de temperaturas (teniendo en cuenta ambas líneas de cilindros A y B de cada motor) están expresados en la **Tabla 1**:

Tabla 1. Definición de modos de funcionamiento

Definición de Modos de funcionamiento	
Modo1	$\sum \Delta T_i < 200 \text{ }^\circ\text{C}$
Modo2	$200 \text{ }^\circ\text{C} < \sum \Delta T_i < 300 \text{ }^\circ\text{C}$
Modo3	$300 \text{ }^\circ\text{C} < \sum \Delta T_i < 600 \text{ }^\circ\text{C}$
Modo4	$600 \text{ }^\circ\text{C} < \sum \Delta T_i$

La distribución porcentual de valores de desviación de temperaturas respecto a la media se refleja en la **Figura 9**, sobre la cual se aprecian también, en líneas discontinuas, los límites de los modos considerados en la **Tabla 1**. A partir de $\sum \Delta T_i = 600 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\approx 2\%$ de los registros) hay un incremento notable de la tendencia de desviación de temperaturas. Este modo de funcionamiento, denominado MODO4, es el más perjudicial para el correcto funcionamiento del propulsor y que puede causar mayor fatiga al mismo ya que los cilindros presentan una mayor descompensación respecto a la media (esta reacción puede ser derivada por un mal funcionamiento en otros componentes). El porcentaje de registros de este modo es estable para todos los buques y años (en torno al 2%). Los otros 3 grupos de datos (MODO1, MODO2, y MODO3) presentan en torno al 33% de registros por cada uno, depende que propulsores (barco y año) tener en cuenta, pero la variabilidad es menor al $\pm 10\%$ respecto del tercio total de registros con los límites definidos en la **Tabla 1**.

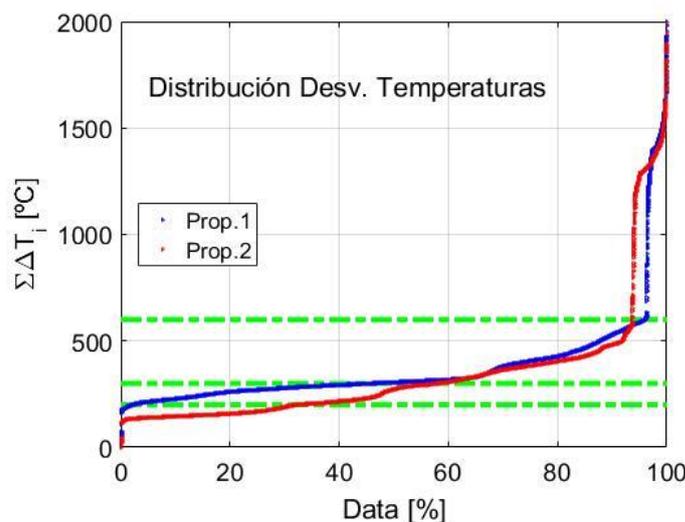


Figura 9. Distribución de datos de desviación de temperaturas en buque ejemplo durante 1 año

Esta repartición de registros por modo de funcionamiento, entre los años 2015 y 2018 para tres buques equivalentes se muestran en la

Figura 10. En la misma se aprecia que el número de registros considerados es similar para ambos propulsores. La repartición es análoga por modos considerados.

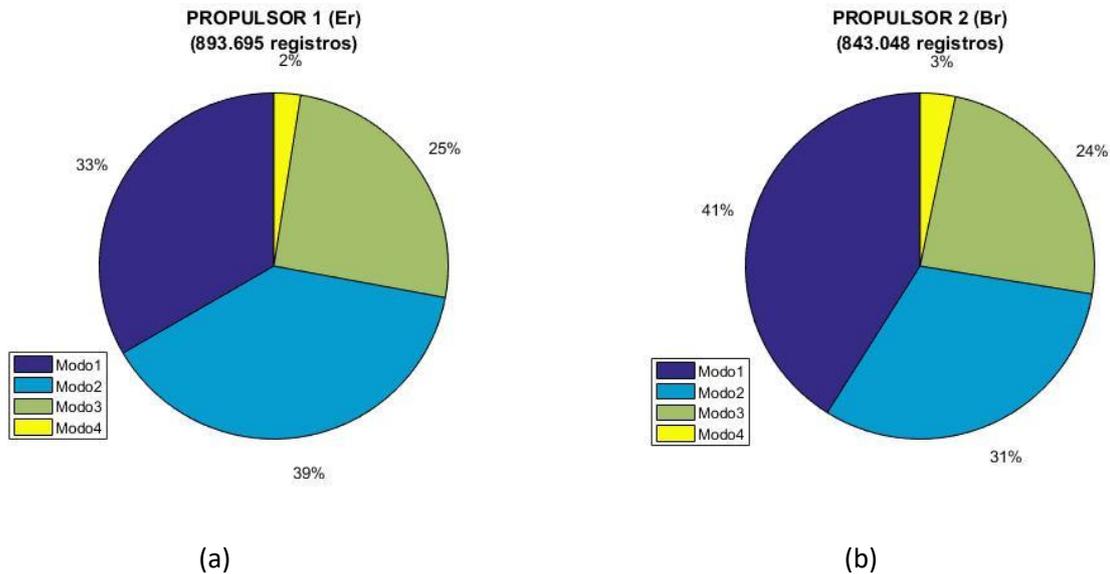


Figura 10. Modos de funcionamiento registrados, durante funcionamiento, en tres buques equivalentes entre 2015-2018 en (a) propulsor 1-Estribor y (b) propulsor 2-Babor

El objetivo es crear una red neuronal, capaz de clasificar los 4 modos de funcionamiento expuestos (*Outputs*), desde el más compensado (MODO1) hasta el más descompensado (MODO4), a partir de unos parámetros de entrada (*Inputs*). Se establecen 3 tipos de experimentos que se diferencian por el número de Inputs a tener en cuenta en cada uno de ellos, según lo descrito en la **Tabla 2**. En el primer experimento se tienen en cuenta 11 parámetros (diferencias de temperaturas sólo de cilindros de la línea A), en el segundo 3 parámetros y en el tercer experimento son 9 parámetros correspondientes a los 3 del segundo experimento más dos conjuntos más de los mismos, correspondientes a registros temporales 30 y 60 minutos precedentes a los del momento t en el que se quiere hacer la predicción.

Tabla 2. Resumen de experimentos

Experimentación a realizar y conjuntos de datos			
Conjuntos	Inputs (N)	Outputs	Número de registros
Primer experimento	\bar{T} , IC, RPM, $\Delta T_{i(L\grave{a}nea\ A)}$ (11)	4 Modos	163.597 (1 año) Buque ejemplo
Segundo experimento	\bar{T} , IC, RPM (3)		
Tercer experimento	\bar{T} , IC, RPM * ($t, t-30min, t-60min$) (9)		

La red neuronal (*feed forward*) diseñada tiene una capa oculta de 24 neuronas y una capa oculta de 24 neuronas para cada modo de funcionamiento considerado. Se utilizan el 65% de registros en fase de entrenamiento, el 20% en fase de validación y el 15% restante en fase de test.

5. Resultados y discusión

Tras entrenar las redes neuronales de los experimentos descritos en la sección anterior, se han obtenido resultados concluyentes sobre la capacidad de cada red entrenada para clasificar los modos de funcionamiento considerados para los motores propulsores de un buque.

En el primer experimento, la tasa de verdaderos positivos para los 4 modos de funcionamiento es de en torno a 93,5% (**Tabla 3**), teniendo la red mayor facilidad de clasificar a los registros pertenecientes al MODO4 (98% de verdaderos positivos) que se supone como el más contraproducente para el correcto funcionamiento y desgaste del motor propulsor.

En el segundo experimento se reducen drásticamente el número de parámetros de *Input* (hasta 3), ellos correlacionados positivamente entre sí (tras análisis PCA). En este experimento se observa una reducción de la tasa de verdaderos positivos hasta el 76% (**Tabla 3**) en cada una de las fases de entrenamiento, validación y test. Al contrario que en el primer experimento, aquí se aprecia una mayor tasa de falsos positivos entre los Modos opuestos MODO 1y MODO4, lo que resulta en un riesgo para poder predecir correctamente posibles estados no deseados del propulsor. Esta tasa de falsos positivos aumenta hasta el 61%.

En lo que respecta al tercer experimento, aun sirviéndose de los mismos *Inputs* que el primero, este utiliza valores de los *Inputs* de registros realizados 30 y 60 minutos antes del momento en el que se pretende predecir el modo de funcionamiento del motor. El número total de parámetros de entrada es intermedio a los dos experimentos previos pero los resultados se aproximan bastante a los del primer experimento, obteniendo una tasa global de verdaderos positivos mayor al 92% (**Tabla 3**). El punto negativo de utilizar esta configuración de parámetros de entrada es la alta tasa de falsos positivos que presentan entre los modos de funcionamiento 1 y 4, mientras que entre los modos 2 y 3 se alcanzan tasas de verdaderos positivos muy altas.

Tabla 3. Resumen de tasas de verdaderos positivos

Conjuntos	Tasas de verdaderos positivos		
	Entrenamiento	Validación	Test
Primer experimento	93.3%	93.4%	93.6%
Segundo experimento	76.0%	76.2%	76.5%
Tercer experimento	92.4%	92.6%	92.5%

Al analizar las curvas de aprendizaje obtenidas en los tres experimentos de forma conjunta, se puede apreciar las diferencias en la convergencia hacia la solución de error óptimo, siendo los errores finales obtenidos muy similares para los experimentos 1 y 3 (**Figura 11**). Se converge más tarde cuando mayor número de parámetros Input se consideran (experimento 1). Esto se traduciría en el futuro en un mayor tiempo de computación para cada problema planteado conforme un mayor número de parámetros sean necesarios para clasificar un patrón de comportamiento determinado.

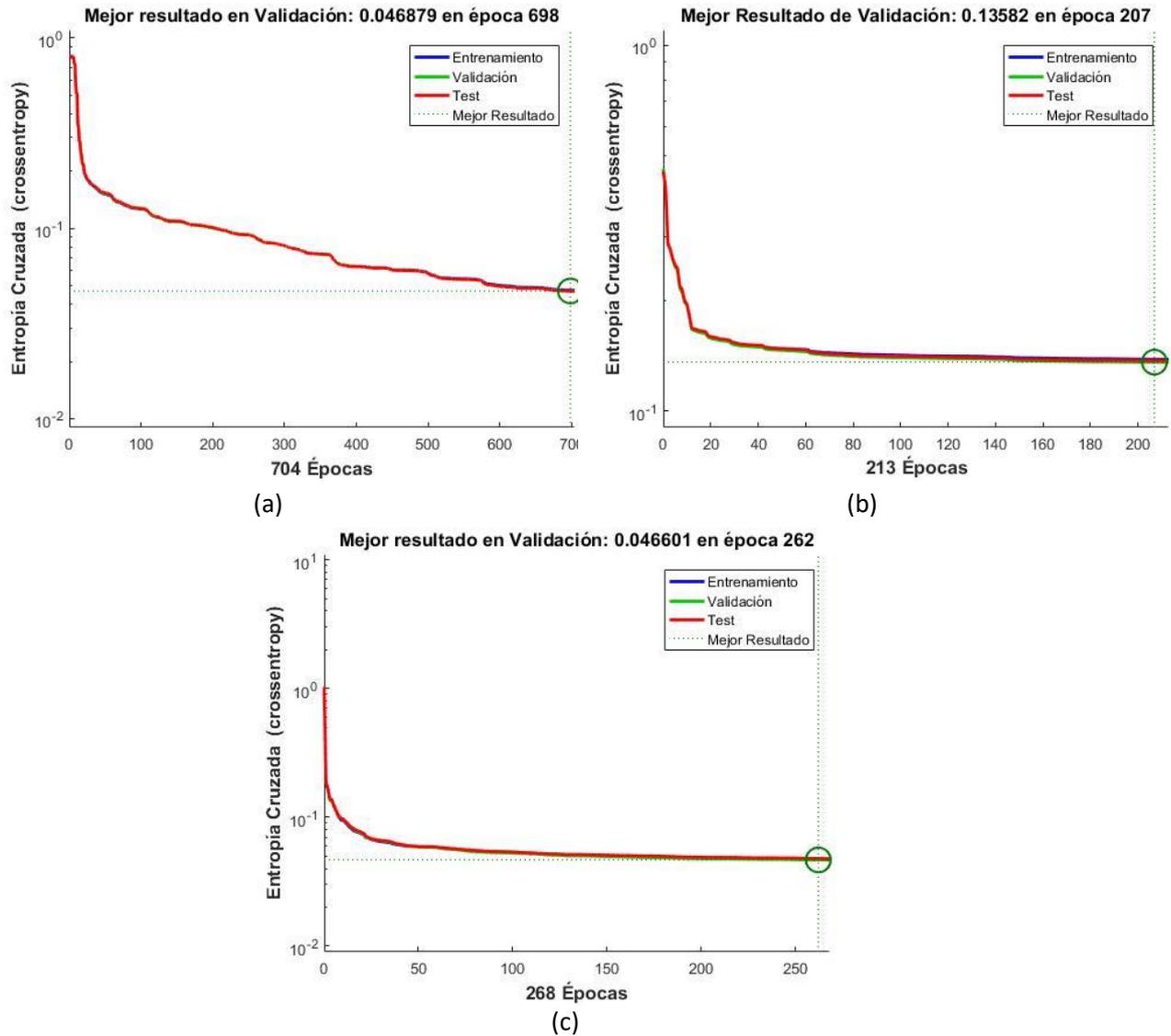


Figura 11. Curvas de convergencia a error mínimo en validación para (a) primer, (b) segundo y (c) tercer experimento

6. Conclusiones y perspectivas

Tras haber expuesto y analizado los resultados de este estudio, se pueden extraer las siguientes conclusiones de los mismos:

El análisis realizado muestra que los motores propulsores analizados son operados normalmente a una relación de potencia inferior a su capacidad máxima ($IC=30\%-42\%$ durante un tiempo de operación $TO>80\%$), lo que parece poder impactar sobre el comportamiento normal de sus componentes. Del mismo modo, se distinguen distintos modos de funcionamiento que hacen que el motor funcione de forma más compensada con menores desviaciones de temperaturas sobre la media. Igualmente, se ha descrito un modo de funcionamiento característico ($\approx 2\%$ de los registros totales en operación) a partir de una desviación acumulada de temperaturas sobre la media de $\sum \Delta T_i = 600^\circ\text{C}$, en la que aumenta de forma más notable este parámetro, indicador de descompensación en el comportamiento de los cilindros del propulsor. Mayores valores del parámetro $\sum \Delta T_i$ pueden desembocar en un funcionamiento no deseado del propulsor. En cuanto a los datos, los

motores propulsores análogos situados en distintos buques, en distintos años y distinta posición de los mismos (Er y Br), resultan en comportamientos y distribuciones análogas de sus modos de funcionamiento. Esto afianza la coherencia de los datos y da solidez a la hipótesis de que los registros de los datos de motores propulsores son equivalentes para equipos análogos.

Finalmente, se puede concluir que el uso de técnicas asociadas al aprendizaje automático para clasificación de eventos, que puedan impactar en el correcto funcionamiento (presente y futuro) de los equipos embarcados, suponen una herramienta muy útil de ayuda a la decisión para las dotaciones. Para un mejor conocimiento de los sistemas a mantener por la Armada española, es de capital importancia ligar datos mecánicos como los presentados en este estudio exploratorio a datos de configuración logística. Esto supondrá obtener capacidades para predecir patrones de comportamiento en elementos configurados o actores que participen en el apoyo logístico.

Agradecimientos

Este estudio exploratorio se ha realizado en el marco del proyecto de *Apoyo Logístico 4.0* liderado por la Dirección de Sostenimiento (DISOS) de la Jefatura de Apoyo Logístico (JAL) de la Armada española. El autor quiere agradecer al CN D. Juan Díaz del Río Durán, CN D. Diego Carriazo Hernández y al resto de personal de CESADAR-Central, CF D. Fernando Escondrillas Gómez, SGT1 D. Francisco Preciado Conesa y OTA D. José Carlos García Pérez por su apoyo a la consecución de los resultados expresados en este estudio.

Referencias bibliográficas

- [1] J. D. González-Aller Lacalle and F. Lamas López, "Evolución del CESADAR 'Prediciendo el futuro, eficiencia en el sostenimiento, eficacia de la flota,'" *Rev. Gen. Mar.*, no. Agosto-Septiembre, p. 14, 2018.
- [2] F. Escondrillas and F. Lamas López, "Informe Estado General CESADAR 2018 (Informe Interno Confidencial ARMADA)," Cartagena, 2018.
- [3] U. Fayyad, G. P. Shapiro, and P. Smyth, "From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases," *AI Mag. Am. Assoc. Artif. Intell.*, no. Fall, p. 18, 1996.
- [4] R. Brachman and T. Anand, "The Process of Knowledge Discovery in Databases: A Human-Centered Approach," *Adv. Knowl. Discov. Data Min.*, pp. 37–58, 1996.
- [5] C. Wang, "Embedded Sensing for Online Bearing Condition Monitoring and Diagnosis," University of Massachusetts, Amherst, MA, 2001.
- [6] P. W. Tse and D. P. Atherton, "Prediction of Machine Deterioration Using Vibration Based Fault Trends and Recurrent Neural Networks," *J. Vib. Acoust.*, vol. 121, no. July, pp. 355–362, 1999.
- [7] H. Taplak, I. Uzmay, and S. Yildirin, "Design of artificial neural networks for rotor dynamics analysis of rotating machine systems," *J. Sci. Ind. Res.*, vol. 64, no. June, pp. 411–419, 2005.
- [8] Y. Shao and K. Nezu, "Prognosis of remaining bearing life using neural networks," *J. Syst. Control Eng.*, vol. 214, no. 3, pp. 217–230, 2000.
- [9] Y. Y. Liu, Y. F. Ju, C. D. Duan, and X. F. Zhao, "Structure damage diagnosis using neural network and feature fusion," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 24, pp. 87–92, 2011.
- [10] O. Abdeljaber, O. Avci, S. Kiranyaz, M. Gabbouj, and D. J. Inman, "Real-time vibration-based structural damage detection using one-dimensional convolutional neural networks," *J. Sound Vib.*, p. 17, 2016.
- [11] M. S. Hossain, O. Z. Chao, Z. Ismail, S. Noroozi, and K. S. Yee, "Artificial Neural Networks for Vibration Based Inverse Parametric Identifications: A Review," *Appl. Soft Comput.*, 2017.
- [12] F. Lamas-Lopez, "Field and laboratory investigation on the dynamic behavior of conventional railway track-bed materials in the context of traffic upgrade," Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2016.
- [13] F. Lamas López, J. M. Riola Rodríguez, and J. D. González-Aller Lacalle, "La aplicación de Inteligencia Artificial (IA) en industria 4.0: mantenimiento predictivo de equipos embarcados," in *56º congreso del colegio de Ingenieros Navales y Oceánicos.*, 2017, p. 11.
- [14] C. Sharma, "Big data analytics using neural networks," San José State University, 2014.

- [15] M. Sánchez-Montañés, L. Lago, and A. González, “Métodos avanzados en aprendizaje artificial: Teoría y aplicaciones a problemas de predicción,” Madrid, 2014.
- [16] Y. Saad, *Iterative methods for sparse linear systems*, vol. 3, no. 4. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2000.

JORNADA TÉCNICA DE THALES ALENIA SPACE
«DE LA CONFORMIDAD A LA MADUREZ EN EL SECTOR DE LA DEFENSA»
ETSIAN 13 SEPTIEMBRE 2018.

DE LA CONFORMIDAD A LA MADUREZ

Le invitamos a participar en una jornada sobre la madurez y la innovación de los procesos organizacionales en el sector de defensa, así como el resultado obtenido con la creación de nuevas soluciones tecnológicas.

13 de septiembre de 2018

Instituto Técnico Español de Ingenieros de Armas Navales
ETIAN, C/Amara Soría, 107

9:00h	Acreditaciones	11:30h	INNOVACIÓN Y LA CAPACIDAD INDUSTRIAL Pedro A. Pastor, Subdirector General de Ingeniería, Aplicación y Entregas Industriales de Defensa
9:25h	Simposio		INNOVACIÓN EN LOS GRANDES PROGRAMAS INDUSTRIALES. PROGRAMA F-115 Alfonso Manuel Martínez Ruiz, Subdirector de Ingeniería de la Armada
9:30h	Presentación evento	12:30h	Cierre. Thales
9:45h	LA MADUREZ COMO BIENIO Javier Pardo, Director de Calidad e Innovación de Thales España	12:00h	Visita a la exposición de innovaciones de Thales
10:00h	METODOLOGÍA DE LA MADUREZ Pilar Ballesteros, Responsable del Sistema de Gestión de Thales España	13:00h	Voto español
10:30h	MADUREZ APLICADA A INNOVACIÓN Stratibus, Thales Alenia Space España Héctor X. Thales Program de Electrónica y Comunicaciones		

El pasado mes de septiembre se celebró un encuentro para compartir la visión del sector de la defensa en torno a la madurez de los procesos en las compañías, un valor añadido al ir más allá del mero cumplimiento en la entrega de los productos.

La gestión de la madurez es clave por ser un modelo común de implementación y seguimiento en diferentes niveles, para alinear y adaptar la organización y capacidades a las necesidades de negocio y su desarrollo, facilita las iniciativas de mejora y la compartición de conocimiento, refuerza el desarrollo y colaboración entre los equipos y la responsabilidad de los profesionales.

Entre los beneficios de adoptar una metodología de madurez se encuentran, alentar la mejora continua adaptada al negocio, mejora la eficiencia - a todos los niveles de la compañía -, y se involucra a toda la organización.



El encuentro fue inaugurado por el Comandante-Director de la Escuela de Ingenieros de Armas Navales, CN (CIA-EOF) D. Gustavo Almarza Pozuelo, para dar la bienvenida a su escuela, así como D. José Sarnito, Director de Defensa, Aeronáutica y Seguridad de Thales España. El acto, organizado por Thales, contó con las ponencias del Director de Calidad Innovación y Satisfacción al Cliente, D. Javier Pavón, y de la Responsable del Sistema de Gestión de Calidad, D^a. Pilar Ballesteros.

Para explicar la madurez aplicada a la innovación de productos se sumaron D. José Antonio Álvarez de Arcaya, Director de Relaciones Externas de Thales Alenia Space España, que explicó el proyecto del dirigible estratosférico Stratobus, así como D. Juan Manuel Castro, Director

de Ingeniería de Thales Programas, que compartió el proceso de innovación del producto Horus X, un sistema de mando y control específico para la gestión de múltiples sensores.

A continuación, D. Pedro Fuster, Subdirector General de Inspección, Regulación y Estrategia Industrial de Defensa, expuso los procesos de innovación y la capacidad industrial desde el punto de vista de la Dirección General de Armamento y Material, cómo deben confluir los intereses del sector público y privado para desarrollar productos totalmente adaptados a las necesidades actuales de las Fuerzas Armadas. En esta misma línea, intervino el Almirante D. Manuel Martínez Ruiz, Subdirector de Ingeniería de la Armada, que gracias a su experiencia en la gestión del programa de la F-110, trasladó cómo se acomete un gran programa industrial desde un enfoque de innovación y madurez de los procesos de gestión.



D. Eduardo Bellido, CEO de Thales Alenia Space España, realizó el cierre de la jornada para dar paso a una visita a la exposición de las últimas innovaciones abordadas por Thales en España a través de la metodología de la madurez, que ha permitido poder llegar a convertir ideas en productos concretos y adaptados a sus clientes.



BIOGRAFÍA¹

*Ultmo. Sr. D. José Romero
Fernández de Landa
Ingeniero General de la Armada*

Romero Fernández de Landa, José. (Galaz, 25 de mayo de 1735, Madrid, 5 de agosto de 1807) Marino e ingeniero naval y primer Ingeniero Naval de la Real Armada Española.

Desarrolló los planos de varios navíos de línea de dos y tres puentes participantes en las grandes batallas navales de la época de finales del siglo XVIII y principios del XIX como en la Batalla del Cabo de San Vicente y en la Batalla de Trafalgar. Conocido por escribir el «*Reglamento de maderas necesarias para la fábrica de los baxeles del Rey*» (1783).

El 27 de mayo de 1752 ingresó en el Regimiento de Dragones de Edimburgo en la Villa de Arcos, donde se encontraba su compañía. Sin embargo se alistó en la Armada en 1754. Ascendió a alférez de fragata y teniente de la 5ª Compañía del 2º Batallón de Marina destinado en Ferrol.

El 1 de noviembre de 1765 se incorporó a trabajar en el astillero de Guarnizo que se encontraba bajo el mando del ingeniero Francisco Gautier.

En octubre de 1770 se crea el Cuerpo de Ingenieros de Marina siendo *Romero Landa*

uno de los pocos oficiales del Cuerpo de Oficiales de Guerra que ingresó a su creación. Fue capitán de fragata, Comandante de Ingenieros e Ingeniero General.

El 28 de enero de 1786 ascendió a Ingeniero General de la Armada.

Con la instauración de la Casa de Borbón en el siglo XVIII se llevó a cabo una política de profundas reformas en todos los campos con la intención de colocar a España en un lugar destacado entre las potencias europeas. La Marina se consideró vital como medio de control de las colonias americanas. En 1765 llegó Gautier a España enviado por el ministro de Asuntos Exteriores francés François Choiseul para implantar en los astilleros españoles las técnicas constructivas francesas. Gautier presentó su dimisión el 5 de marzo de 1782, promovándose a Romero Landa como Ingeniero Director.

¹ <<http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/651329#sel=14:1,14:1>>

