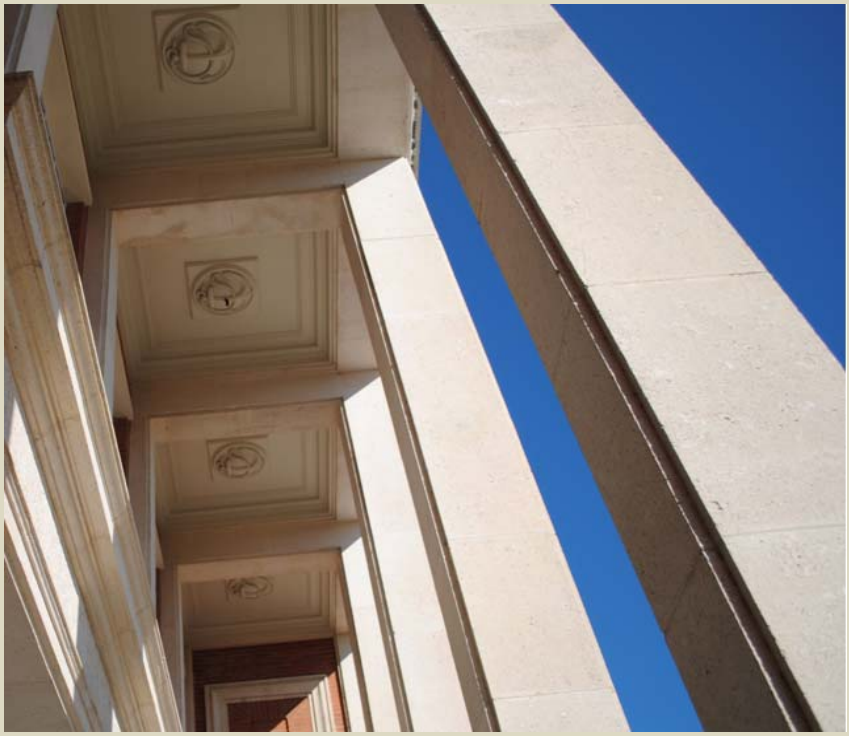
# BOLETÍN TÉCNICO DE INGENIERÍA DE LA ARMADA

Julio 2013
Número 4



## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE ARMAS NAVALES

***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.

# ÍNDICE

**EDITORIAL** Pág. 1

**VIEJA FOTO** Pág. 3

DURACIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO Pág. 4
**CF Agustín González Morales**

PLANTAS PROPULSORAS COMBINADAS PARA BUQUES DE GUERRA Pág. 7
**CF Indalecio Seijo Jordán**

LA MAGNETIZACIÓN DEL BUQUE Y SU MEDIDA Pág. 13
**CC Antonio Villalba Madrid**

NUEVO SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN EN EL AIRE Pág. 23
**Francisco Javier García García**

**JORNADAS TÉCNICAS: VEHÍCULOS NO TRIPULADOS DE APLICACIÓN NAVAL** Pág. 32

**CONSEJO DE ENSEÑANZA** Pág. 33

**ACTO DE CLAUSURA DEL PERÍODO DE FORMACIÓN CURSO 2012/2013.** Pág. 34

**INGENIEROS EN LA HISTORIA** Pág. 37
JOSÉ ROMERO FERNÁNDEZ DE LANDA

# EDITORIAL

**Discurso del Comandante-Director de la ETSIAN en el acto de clausura del Curso, el día 5 de julio de 2.013**

## EL COMPROMISO DE UN OFICIAL DE LA ARMADA

Hoy no os voy a hablar de Ingeniería. Cuando no se puede mejorar lo dicho con anterioridad conviene callarse y convendréis conmigo que es difícil superar lo expuesto por nuestro ilustre invitado y amigo, el Dr. Don Jesús Panadero, Director de la ETSIN. Hoy voy a hablaros, brevemente, de moral, decencia y honradez. Términos poco utilizados hoy día, posiblemente por falta de destinatarios.

Dentro de pocas fechas recibiréis el despacho que os acredita como oficiales de la Armada. Es un honor por el que tendréis que pagar durante toda vuestra vida militar. Nadie tiene derecho,"per se", a vestir nuestro uniforme. Es algo que la Armada, España, otorga generosamente confiando en que os haréis dignos de él.

Hace años escuché en la radio una entrevista a un jovencísimo torero, hoy figura consagrada. En ella le preguntaban por qué siendo tan jovencito iba siempre de chaqueta y corbata y adoptaba poses tan serias. Él contestó, muy gravemente, que un torero tiene que serlo y parecerlo dentro y fuera de la Plaza.

Pues bien, salvando las distancias, estoy de acuerdo. Un oficial de la Armada tiene que serlo y parecerlo las 24 horas del día, todos los días del año.

Tiene que ser un ejemplo de honradez y decencia en todas partes, un referente moral para sus hombres, y tiene que acostarse cada día con la convicción de que ha hecho todo lo humanamente posible por cumplir con su deber.

Oficiales Alumnos, la corrupción es como un río de plácidas aguas con una suave corriente a favor. Una alternativa muy atractiva al pedregoso y áspero camino de la honradez. Es fácil dejarse convencer, subirnos a esa barca que se nos brinda y dejarnos arrastrar por la corriente recogiendo los frutos que se nos ofrecen desde las frondosas riberas de ese río, en agradable connivencia con un entorno que busca medrar a costa de la Armada.

Pero esa corriente, con el tiempo, se va incrementando. La barca cada vez navega con más rapidez y llega un momento en que es imposible gobernarla. Aparecen los rápidos y el río se precipita, SIEMPRE, por una catarata que acaba en un abismo de vergüenza y deshonor.

Elegid el camino duro, el árido, en el que nunca os lucraréis y en el que, tal vez, jamás vuestros esfuerzos serán reconocidos. ¡¡NO IMPORTA!!, sed personas íntegras, sed dignos sucesores de aquellos marinos que hicieron grande a nuestra Patria, a nuestra querida España.

No rehuyáis la responsabilidad, asumirla. No permitid que este ambiente de amoralidad que hoy impregna la sociedad en que vivimos os atrape. Sed justos y firmes en vuestras decisiones. Preocuparos por vuestros subordinados, porque sin ellos no sois nada. Apoyad sin reservas a vuestros superiores, porque ellos necesitan de vuestra subordinación y lealtad, y tienen derecho a exigirla, y vosotros de su guía, buen mando y experiencia.

Huid de la molicie y del conformismo, influid en vuestro entorno, dejad huella, nunca os quedéis en segunda fila, dad la cara, ofreceros, no sed pusilánimes……en resumen sed orgullosos Oficiales de la Armada.

Con el tiempo vuestro devenir en la Armada finalizará. Llegará el momento de hacer cuentas ante un juez implacable: vuestra conciencia. A ella nadie la engaña. Quiera Dios que con la ayuda de nuestra Patrona La Virgen del Carmen podáis y podamos, cerrar nuestra Hoja de Servicios con la conciencia tranquila y la satisfacción del deber cumplido.

Todo esto que os he dicho está escrito desde hace 400 años, cuando la Nación Española, que ya tiene 521 años de existencia, iniciaba su andadura, cuando éramos los españoles los que decidíamos los destinos del mundo conocido. Cuando nuestros ejércitos imponían la voluntad de España.

*"Ese ejército que ves*
*vago al yelo y al calor,*
*la república mejor*
*y más política es*
*del mundo, en que nadie espere*
*que ser preferido pueda*
*por la nobleza que hereda,*
*sino por la que él adquiere;*
*porque aquí a la sangre excede*
*el lugar que uno se hace*
*y sin mirar cómo nace*
*se mira cómo procede.*
*Aquí la necesidad*
*no es infamia; y si es honrado,*
*pobre y desnudo un soldado*
*tiene mayor calidad*
*que el más galán y lucido;*
*porque aquí a lo que sospecho,*
*no adorna el vestido al pecho,*
*que el pecho adorna al vestido;*
*Y así, de modestia llenos,*
*a los más viejos verás,*
*tratando de ser lo más,*
*y de parecer lo menos.*
*Aquí la más principal*
*hazaña es obedecer,*
*y el modo cómo ha de ser*
*es ni pedir ni rehusar.*
*Aquí, en fin, la cortesía,*
*el buen trato, la verdad,*
*la fineza, la lealtad,*
*el honor, la bizarría;*
*el crédito, la opinión,*
*la constancia, la paciencia,*
*la humildad y la obediencia,*
*fama, honor y vida son,*
*caudal de pobres soldados;*
*que en buena o mala fortuna,*
*la milicia no es más que una*
*religión de hombres honrados." (Don Pedro Calderón de la Barca).*

Almirante, tengo el honor y la satisfacción de entregarte un puñado de excelentes oficiales a los que ha sido un honor mandar.

¡¡BUENA SUERTE…Y… AL TORO QUERIDOS OFICIALES!!

**Muchas gracias……**

# Vieja foto

## Excmo. Sr. D. Manuel González de Rueda y Gil

Ingresa en la Academia de Estado Mayor de Artillería de la Armada el 19 de abril de 1.881.

Ascendió a capitán en el 89, siendo destinado al Arsenal de La Carraca de Secretario del Jefe del Ramo de Artillería, y posteriormente, fue nombrado profesor de la Escuela de Artilleros de Mar, establecida en la Fragata "Gerona", en donde embarcó, permaneciendo dos años en el destino. En el año 1.882, se le nombró profesor de la Academia de Ampliación. En 1.885 fue destinado a la Comisión de Marina en Francia para inspeccionar el material de Artillería de tiro rápido, de su invención. El sistema comprendía cañones desde 10 cm. hasta 24 cm. Eligió, para su presentación, el calibre de 12 cm., por encontrarse dicho calibre en la línea divisoria entre la Artillería de tiro rápido de mediano y pequeño calibre y también por ser de construcción más económica.

Se le encargó la construcción de una pieza y montaje de dicho calibre que se construyó en Francia en 1.900 y se probó en España en 1.901, superando lo prometido en el proyecto. La Junta Facultativa de Artillería propuso la adopción de sistema para la Marina, pero el Gobierno quiso construir otro cañón experimental de dicho sistema del calibre 15 cm., de cuyo resultado en pruebas decidiría sobre la adopción definitiva del sistema. Estas pruebas dieron un magnífico resultado.

# DURACIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

**CF ingeniero de armas navales**
**Agustín E. González Morales**
**Jefe del Ramo de Electricidad, Electrónica y Armas**
**del Arsenal de Cádiz**

En la práctica de la Ingeniería se acepta el siguiente axioma: «tareas de mantenimiento supuestamente idénticas, realizadas bajo condiciones similares, requieren *diferentes* intervalos de tiempo para ejecutarlas». Los factores principales que provocan estas variaciones son:

- personales: como la habilidad del operario, la motivación, la formación, etc.;
- condicionales: como las consecuencias producidas por una avería;
- el entorno: como la influencia de la temperatura, la humedad, las vibraciones, etc.

La forma de evaluar cuantitativamente el impacto de todos estos factores –y de muchos más– sobre la duración de las tareas de mantenimiento, es usar la teoría de las probabilidades. Así, se define dicha duración mediante la variable aleatoria $TTR$ (*Time To Restore*) y su distribución de probabilidad. Estudiaremos, a continuación, la función de mantenibilidad $M(t)$ y las variables $TTR_p$ y $MTTR$.

## La función de mantenibilidad $M(t)$

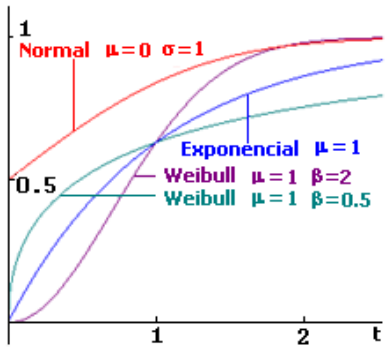
$M(t)$ es la función de distribución de la variable $TTR$ y representa la probabilidad de que una tarea de mantenimiento finalice satisfactoriamente en un tiempo t, o antes:

$$M(t) = P(TTR \leq t) = \int_0^t m(t)dt$$

donde $m(t)$ es la función de densidad de probabilidad de la variable $TTR$.

En la tabla siguiente se muestra $M(t)$ para algunas distribuciones de probabilidad conocidas, donde $\mu, \sigma$ y $\beta$ son parámetros de escala y forma.

| DISTRIBUCIÓN | $M(t)$ | | DOMINIO |
|---|---|---|---|
| **Exponencial** | $1 - \exp\left(-\frac{t}{\mu}\right)$ | $\mu > 0$ | $t \geq 0$ |
| **Weibull** | $1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\mu}\right)^{\beta}\right]$ | $\mu > 0$<br>$\beta > 0$ | $t \geq 0$ |
| **Normal** | $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{t} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]dt$ | $\mu \geq 0$<br>$\sigma > 0$ | $-\infty < t < +\infty$ |




Funciones de distribución de mantenibilidad

$TTR_p$

El $TTR_p$ es el tiempo $t$ con el que se consigue una probabilidad $p$ de terminar exitosamente una tarea de mantenimiento en el instante $t$, o antes.

$$TTR_p = t \quad \text{para que} \quad M(t) = P(TTR \leq t) = \int_0^t m(t)dt = p$$

El valor más utilizado es el $TTR_{90}$ ($p$ se expresa normalmente en tanto por ciento); es decir, el tiempo $t$ dentro del cual finaliza satisfactoriamente una tarea de mantenimiento con una probabilidad del 90%. En el entorno militar se suele emplear el $TTR_{95}$. Además, se considera que el $TTR_{95}$ es el *tiempo máximo* para realizar con éxito la tarea de mantenimiento.

**Duración esperada de la tarea de mantenimiento $\boldsymbol{MTTR}$**

El $MTTR$ (*Mean Time To Restore*) es el valor medio de la variable aleatoria $TTR$:

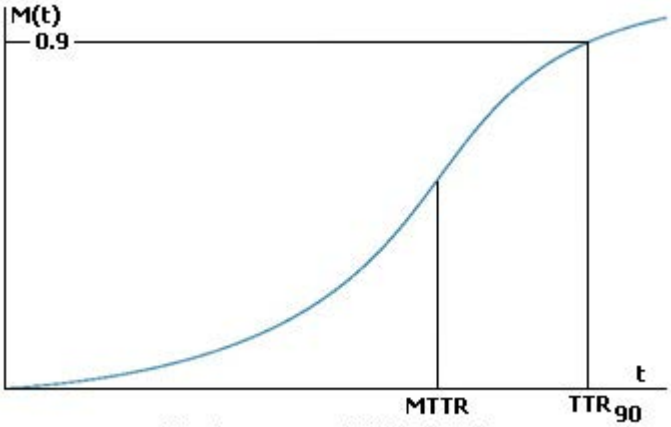
$$MTTR = \int_0^\infty t \cdot m(t)dt$$

Los valores del $MTTR$ de las distribuciones más empleadas son:

| DISTRIBUCIÓN | $\boldsymbol{MTTR}$ |
|---|---|
| **Exponencial** | $\mu$ |
| **Weibull** | $\mu \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ |
| **Normal** | $\mu$ |

$\Gamma$ es la función Gamma de Euler.

En la siguiente figura se muestra una función de mantenibilidad típica.




Función de mantenibilidad típica

Como dijimos, $M(t)$ representa la probabilidad de que la funcionabilidad se recupere en el instante $t$, o antes. En muchos casos, es importante conocer la probabilidad de que un sistema que no haya sido recuperado en un tiempo $t_1$, sea devuelto al estado de funcionamiento antes de un instante $t_2$. Se trata de una probabilidad condicional, porque la recuperación puede producirse en el instante $t_2$, o antes, no habiéndose producido en $t_1$. Se evalúa con la expresión siguiente:

$$P(TTR \leq t_2 | TTR > t_1) = \frac{M(t_2) - M(t_1)}{1 - M(t_1)}$$

Ejemplo. *Para una tarea de mantenimiento cuya duración satisface a la distribución Weibull con $\mu = 29$ y $\beta = 2.9$, determínese: a) la probabilidad de que una tarea de mantenimiento finalice en 20 minu-*

*tos, o antes; b) el tiempo dentro del cual se realiza satisfactoriamente una tarea de mantenimiento con unas probabilidades del 20% y el 95%; c) el $MTTR$; y d) la probabilidad de que una tarea, que no haya sido completada en los primeros 29 minutos, finalice con éxito dentro de los siguientes 10 minutos.*

Solución:

a) Según la tabla de funciones de mantenibilidad:

$$M(20) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{20}{29}\right)^{2.9}\right] = 0.288$$

b) El tiempo se calcula despejando $t$ en la expresión de $M(t)$ de la distribución de Weibull:

$$t = \mu\{-\ln[1 - M(t)]\}^{\frac{1}{\beta}}$$

entonces:

$$TTR_{20} = t_{20} = 29\{-\ln[1 - 0.2]\}^{\frac{1}{2.9}} = 17.29 \text{ minutos}$$

$$TTR_{95} = t_{95} = 29\{-\ln[1 - 0.95]\}^{\frac{1}{2.9}} = 42.33 \text{ minutos}$$

c) El $MTTR$ es:

$$MTTR = 29 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{2.9}\right) = 29 \cdot 0.8917 = 25.86 \text{ minutos}$$

d) La probabilidad de que una tarea de mantenimiento se complete antes del tiempo $t_2 = 29 + 10 = 39$, no habiéndose completado en el instante $t_1 = 29$, es:

$$P(TTR \leq 39 | TTR > 29) = \frac{M(39) - M(29)}{1 - M(29)}$$

$$M(29) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{29}{29}\right)^{2.9}\right] = 0.632$$

$$M(39) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{39}{29}\right)^{2.9}\right] = 0.906$$

Por tanto

$$P(TTR \leq 39 | TTR > 29) = \frac{0.906 - 0.632}{1 - 0.632} = 0.745 = 74.5\%$$

es decir, hay una probabilidad del 74.5% de que la tarea, que no se ha completado en los primeros 29 minutos, se complete con éxito durante los siguientes 10 minutos.

# PLANTAS PROPULSORAS COMBINADAS PARA BUQUES DE GUERRA

**CF ingeniero Indalecio Seijo Jordán**
**Arsenal de Ferrol**

## Introducción

Hace pocos años que DRS Technologies anunció que había alcanzado un hito clave en la prueba de un motor de propulsión eléctrica para destructores de la US Navy, llamando la atención de todas las Armadas.

Los EEUU están actualmente invirtiendo en un programa para convertir un buen número de buques con turbinas de gas a la propulsión Hybrid Electric Drive (HED). De manera que pasan de una propulsión COGAG a COGLAG.

Varias marinas ya operan de manera similar a los sistemas HED en el modo CODLAG y otras están en proceso de adquisición de buques con esta combinación de diesel eléctrico y turbina de gas.

Además de la ventaja del ahorro de combustible se buscaba una adecuada combinación de potencia para altas y bajas velocidades, eficiencia en la velocidad de crucero y mejorar la firma ASW.

Los actuales disturbios civiles en el Medio Oriente y las salvajes reducciones de los presupuestos militares están obligando a los diseñadores navales de todo el mundo a examinar de cerca las opciones existentes para sus plantas propulsoras.

## La búsqueda de la eficiencia en todas las velocidades

La imparable subida de los precios del petróleo (por cierto… ¿para cuántos años queda petróleo?) ha obligado a la mayoría de departamentos de defensa, marinas y astilleros a buscar una configuración que permita a los distintos motores principales operar en su forma más eficiente a todas las velocidades que pueda alcanzar el buque, incorporando las últimas tecnologías.

Así que en los próximos años asistiremos a la instalación de numerosos motores eléctricos que pueden servir también como generadores y veremos cómo propulsiones CODAD, CODOD, CODOG, CODAG, COGOG o COGAG se convierten a una propulsión eléctrica híbrida.

**El USS “Truxtun” (DDG 103) probando su propulsión HED**

Entre las tecnologías que hacen a la propulsión eléctrica cada vez más atractiva para los buques de guerra se encuentran avanzados motores eléctricos, transformadores de alta tensión y sistemas de distribución, imanes permanentes (PM), motores avanzados de inducción (AIM) y superconductores de alta temperatura (HTS).

De hecho los ARLEIGH BURKE están mutando de propulsión GOGAG a COGLAG. El sistema HED proporciona potencia de propulsión a velocidades más bajas mediante la integración de la nueva tecnología de motor con Imán Permanente (PM) con el engranaje reductor del buque. Con esta disposición, el buque puede reducir las horas de funcionamiento de sus turbinas de gas y proporcionar ahorros significativos de combustible.

En lugar de utilizar las dos turbinas de gas cuando el buque navega a baja velocidad, a la cual el rendimiento de las turbias es muy bajo, utilizan los turbogeneradores, que además estarán muy cerca del régimen de giro óptimo.

En algunos sistemas HED el motor puede convertirse en un generador (a altas velocidades) para proporcionar energía eléctrica, es decir funcionar como un generador de cola, lo cual nos permite ayudar a los generadores de las turbinas de gas, y además nos proporciona un sistema más redundante, y por lo tanto más seguro.

**CODAD, CODOG, CODLAG, CODAG ¿Qué sistema escoger?**

**COmbined Diesel And Diesel (CODAD)** este sistema de propulsión es especialmente popular cuando se necesitan grandes potencias de salida sin depender de turbinas de gas. Recientemente, los sistemas de CODAD con cuatro motores diesel de alta velocidad en lugar de dos motores diesel de velocidad media parecen atraer la atención de cara a su instalación en patrulleros oceánicos. Esta configuración puede alcanzar los 40 MW de potencia instalada. Otras aplicaciones para esta asequible solución incluyen las fragatas, corbetas, buques de patrulla, buques tipo LPD…

**COmbined Gasturbine And Gasturbine (COGAG)** este es el sistema más potente de los sistemas mecánicos (exceptuando la energía nuclear) y proporciona más de 80 MW de potencia a las líneas de ejes. El objetivo principal de este sistema es proporcionar potencia con el menor peso y espacio posible. Sin embargo, los niveles de consumo de combustible están por debajo de la eficiencia aceptable. Sirva como ejemplo que la US Navy se ha decantado por un sistema hibrido con una unidad eléctrica conectada al sistema COGAG mediante una caja reductora en la nueva generación de destructores clase “Arleigh Burke”.

**COmbined Diesel Or Gasturbine (CODOG)** es el sistema típico que combina dos motores diesel de alta velocidad con dos turbinas de gas. En esta combinación la máxima velocidad del buque la define la potencia de la turbina de gas, mientras que los motores diesel son los responsables de la velocidad de crucero. El sistema CODOG tiene como característica una menor complejidad de la caja reductora. Debido a la alta relación potencia-peso de las turbinas de gas, el peso total y las dimensiones del sistema CODOG son aceptables, pero no son tan buenas como las del sistema CODAG. Esta configuración convencional pero no pasada de moda se utiliza en corbetas y pequeñas fragatas con demandas de potencia de 25-75 MW.

**COmbined Diesel And Gasturbines (CODAG)** es un sistema que une la eficiencia de los motores diesel y la potencia de las turbinas de gas y que se extienden en unos rangos de potencia de decenas de miles de kilovatios. En el sistema CODAG, dos motores diesel y una o dos turbinas de gas proporcionan potencia a las hélices o a los jets propulsores mediante dos cajas reductoras y una caja reductora de conexión. Si solo está funcionando un motor diesel o una turbina de gas, ambas hélices estarán uniformemente alimentadas por la potencia de propulsión mediante la caja reductora de conexión. Si los dos motores diesel están funcionando, esta caja reductora de conexión se pude desacoplar. La principal ventaja de este sistema de propul-

sión es la eficiencia en el consumo de combustible de los motores diesel en el modo crucero y la opción de reducir el tamaño de los motores diesel con el fin de reducir al mínimo el espacio y el peso de la instalación. Si se requiere la velocidad máxima, los dos motores diesel y las dos turbinas de gas del buque pueden trabajar en paralelo entregando una elevada potencia. La ventaja sobre el típico sistema CODOG es que solo requiere una turbina de gas para entregar casi la misma potencia de salida. Cubren una demanda de energía desde 30 Mw a más de 80 Mw. Este sistema CODAG se encuentra en toda la gama de buques desde corbetas hasta destructores, combinando una mayor flexibilidad con un menor peso (fragatas alemanas Tipo F124, corbetas turcas MilGem, fragatas F310 noruegas y los Litoral Combat Ships de la US Navy).

**COmbined Diesel Electric And Gasturbine (CODLAG)** este sistema de propulsión es una mejora del sistema CODAG. Los motores diesel mueven unos generadores que producen la energía para los motores eléctricos. La turbina de gas está conectada mediante dos cajas reductoras a dos ejes con hélices de paso variable o fijo. En el modo crucero el buque es propulsado por el sistema diesel-eléctrico. Para lograr la máxima velocidad se acopla la turbina de gas. Además los generadores suministran la energía necesaria para la operación sin necesidad de instalar un grupo electrógeno auxiliar. Dado que los motores diesel no actúan directamente en los ejes, estos pueden utilizarse con un menor nivel de ruido y situarse en cualquier localización del buque. La configuración de la caja reductora es menos compleja y los gastos de mantenimiento son menores. Los motores diesel pueden usarse en el rango óptimo de velocidad de salida para generar energía. Esta configuración se utiliza en las fragatas FREMM.

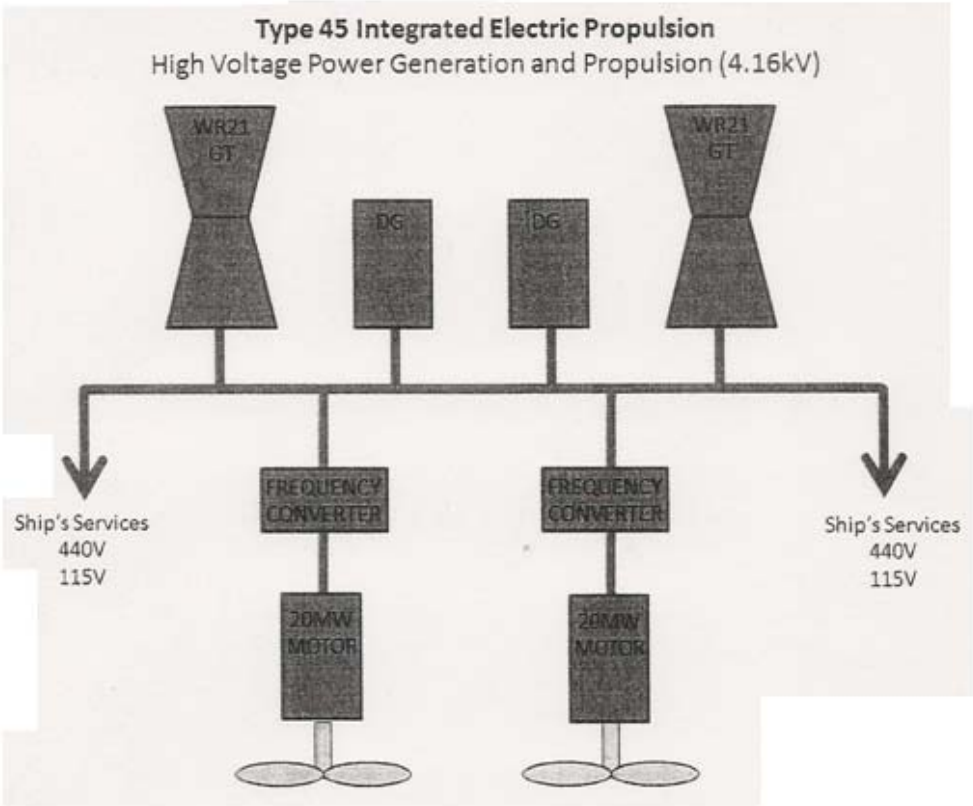
**Sistema Integrate Electric Propulsion (IEP):** los buques del futuro contarán con armas de alta potencia como los cañones laser y de raíl, que demandan grandes cantidades de energía. Aunque algunos analistas dicen que este futuro pueda tardar uno 20 años en llegar, el sistema IEP se encuentra entre los sistemas de propulsión más discutidos hasta la fecha. La combinación de la turbina de gas y los diesel mueven los generadores que proporcionan energía tanto al sistema de propulsión como para la realización de la misión (importantísimo hoy en día con el gran desarrollo de los módulos de misión) y los consumos de “hotel” a través de los sistemas de media tensión. Hasta ahora solo dos marinas trataron de ir por este camino, encontrándose numerosos obstáculos técnicos en la realización de los buques: la Royal Navy con los destructores tipo 45 AAW y la US Navy con el destructor clase “Zumwalt”. Sin embargo, los obstáculos técnicos y comerciales de hoy en día se solventarán sin duda alguna y será la base sobre la que se construya la nueva generación de buques de guerra.

**Motores eléctricos avanzados**

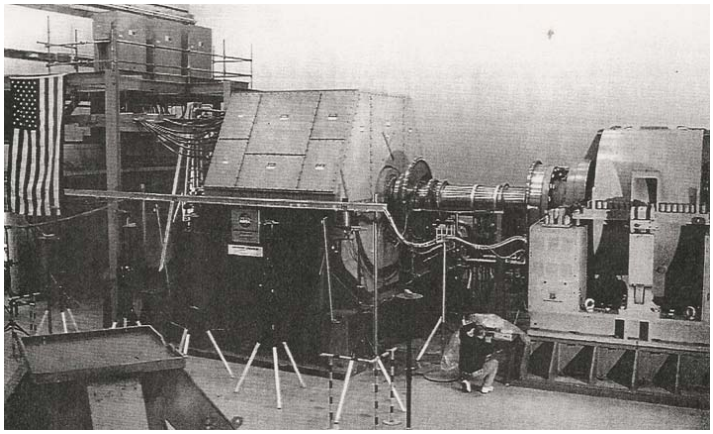
La tecnología DRS ha adquirido gran importancia en los motores PM (Permanent Magnet) debido a la reducción de peso y tamaño y a una potencia superior a la de los motores convencionales. Los motores PM difieren de las maquinas síncronas de campo inducido en que son sus imanes permanentes hechos de tierras raras (Lantánidos y Actínidos) los que generan el flujo rotórico y no las bobinas de los motores convencionales. Esto permite que sean construidos con un menor número de piezas, y además que sean capaces de generar más par a partir de una corriente dada.

Debido a su reducido empacho a bordo, estos motores permiten tener unas cámaras de maquinas más reducidas, incrementando así la capacidad de carga del buque, lo cual resulta muy interesante siempre, y más aun en el caso de los buques militares multipropósito.

Los destructores antiaéreos Type 45 de la armada Británica montan otro tipo de tecnología, que es la que compite con la anterior, se trata de los motores de inducción avanzada (AIM) desarrollados por Converteam. Estos eficientes motores fueron posibles gracias a los avances en los diseños de las maquinas eléctricas, y los avances en las técnicas de control digital desarrolladas en los años 90. Estos motores son más eficientes y con una potencia más fluida, además pueden conectarse directamente al suministro eléctrico sin necesidad de utilizar un transformador. Esta tecnología permite a los motores tener un entrehierro mayor, lo que mejora su capacidad de absorber impactos. Además estos motores funcionan más suave y silenciosamente, y pueden ser refrigerados con cualquier tipo de agua. La figura siguiente muestra la distribución de la energía en un sistema IEP del tipo 45.




La High-Temperature Superconducting (HTS) es otra técnica de alta tecnología, que está siendo aplicada en los motores de los buques. En las HTS, la corriente fluye sin resistencia, a temperaturas criogénicas de alrededor de 30º Kelvin (-243º C). Se anuncia que el sistema "Amperium" HTS permite una conducción 150 veces mayor que un sistema convencional de cables de cobre de las mismas dimensiones. Esto permite fabricar motores sustancialmente más ligeros y pequeños que los motores convencionales "del orden de 2 a 3 veces más potencia por unidad de peso y volumen que las maquinas Estándar". Sin perdidas de energía en los cables, estos motores consiguen tener de 3 a 4 veces más eficiencia (a cargas parciales) que los motores de AC convencionales, llegando a alcanzar el 98% de eficiencia.



**Sistema de propulsión mediante superconductores HTS.**

AMSC y Northrop Grumman Marine Systems, ya han diseñado un motor de 36.5 MW que previsiblemente propulsará los DDG 1000.

**Combinaciones novedosas**

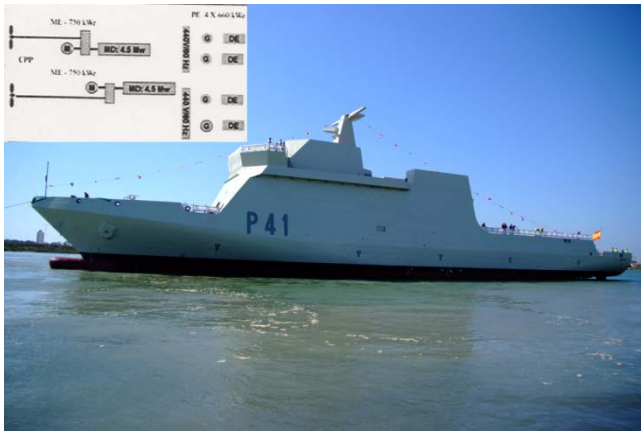
Una combinación acertada es la CODOE (Combinación de Diesel o Eléctrico), usada en los nuevos patrulleros oceánicos españoles y holandeses. Los buques españoles BAM (Buque de Acción Marítima) destacan por poseer un par de motores diesel de 4.500 Kw y dos motores eléctricos de 750 Kw, que gobiernan un par de CPP. Cuatro generadores diesel de 660 Kw proporcionan energía al buque, apoyados por un diesel-generador de emergencia de 260 Kw. Estos equipos proporcionan una velocidad máxima de 20.5 nudos, una velocidad máxima sostenida de 19 nudos y una velocidad de crucero de 10 nudos, y una autonomía de 3.500 millas a 15 nudos.

El nuevo "Holland", clase OPV (Offshore Patrol Vessels), construido para la Real Armada Holandesa por el astillero DSNS (Damen Schedle Naval Shipbuilding), incluye un sistema similar. Algo grande para ser considerado un OPV, el "Holland" desplaza 3.750 Tm, con una eslora de 108.5 m. y una manga de 16m. Este buque puede llegar a una velocidad máxima de 21 nudos con los motores diesel y puede llegar a 12 con los motores eléctricos.

DSNS argumenta que los CODOE tienen numerosas ventajas sobre las otras combinaciones más usuales (CODAD, CODOG, CODAG o CODLOG). Los motores marinos diesel modernos poseen suficiente potencia para cubrir todo el rango de velocidades requeridas por los OPV, usando sólo dos motores y pueden operar eficientemente durante largos periodos usando las configuraciones de baja velocidad. Los motores eléctricos proporcionan una redundancia en caso de fallo de los motores principales, y unas características muy eficientes para misiones de patrulla o ASW de baja velocidad. El sistema diesel eléctrico también recorta el número de horas que el motor principal tiene que operar, repercutiendo en el ahorro en gastos de mantenimiento.

La disposición CODOE también proporciona mejores condiciones de carga para los generadores diesel cuando el buque tiene que operar por largos periodos de tiempo en un bajo estado de disponibilidad o funcionamiento, condiciones que no siempre demandan suficiente potencia eléctrica que justifiquen poner en marcha un generador diesel por encima de la carga mínima, en una disposición convencional. Además de estas ventajas la disposición CODOE permite una reducción de la complejidad de la sala de máquinas como resultado del menor número de componentes y sólo la mitad de diesel auxiliares. Esto también reduce los costes de adquisición y mantenimiento, reduce el consumo de combustible y aceite lubricante, reduce el peso total del sistema de propulsión y simplifica las reductoras.

La tendencia hacia la simplificación en el diseño de los "pequeños" buques de guerra, parece estar emergiendo como resultado del incremento en la utilización de los sistemas de vehículos no tripulados para misiones autónomas o semiautónomas. Según argumentan algunos expertos, reducir la necesidad de operar en las zonas de alto riego, permite la relajación de los requisitos de firma del buque.




**Buque de Acción Marítima (BAM) de la Armada Española con un sistema de propulsión CODOE**

**Avances en IEP**

Veamos de forma breve (e incompleta) los buques que ya han adoptado este sistema.

La Royal Navy inglesa opera el LPD Albion, el buque de abastecimiento Wave y los destructores de la Clase 45, que ya han entrado todos ellos en servicio. Todos son buques IEP, y todos se caracterizan por haber adoptado tecnología del mundo mercante.

En el caso de la armada Norteamericana, el "Lewis-Clark", buque de superficie de la clase T-AKE, ha entrado en servicio, así como la clase DDG 1000.

La armada Holandesa posee el "Rotterdam" como ejemplo de LPD con propulsión totalmente eléctrica, y su servicio y prestaciones ha hecho pensar en esta tecnología para futuros buques de superficie.

En España, el nuevo LHD "Juan Carlos I" ha sido entregado recientemente a la Armada. Posee un sistema CODLAG, con sistema de PODS IEP con turbina de gas y generadores diesel.

La armada francesa posee los buques de la serie BPC también con un servicio de PODS IEP, siendo la propulsión totalmente eléctrica la seleccionada para su futuro carguero.

Brasil, Canadá, Japón y Rusia se encuentran actualmente desarrollando sus futuros buques IEP, y otras muchas armadas del mundo están actualmente interesadas en esta tecnología.

Podemos considerar que se ha dado el primer paso en la aceptación mundial de este sistema de propulsión. Ahora deben pasar unos años pasar evaluar sus bondades, enseñarlo en las escuelas de ingeniería y cambiar algunos tradicionales esquemas de diseño que se han mantenido durante años en los astilleros.

# LA MAGNETIZACIÓN DEL BUQUE Y SU MEDIDA

**CC Ingeniero Antonio Villalba Madrid**
**Arsenal de Cartagena**

## Introducción

Los metales utilizados en la construcción naval son materiales con propiedades ferromagnéticas. La característica fundamental de los materiales ferromagnéticos es que presentan magnetizaciones (imanes) permanentes e inducidas.

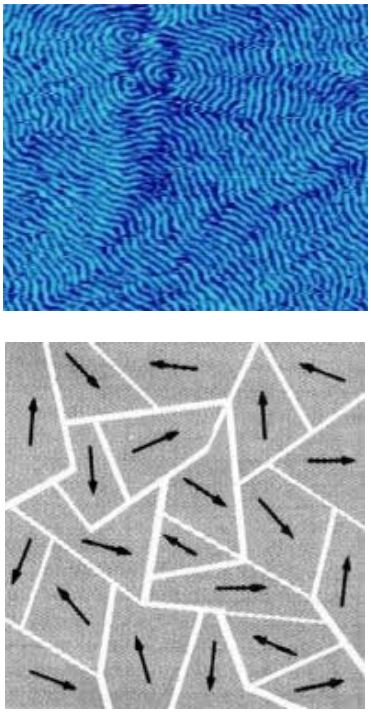


**Figura 1:** Dominios magnéticos.

La magnetización permanente está asociada a los momentos magnéticos de los átomos cuyos electrones tienen la tendencia a alinearse unos con otros dentro del material. La alineación se realiza por "dominios" y dependen en su formación de la estructura cristalina de la materia. Las magnetizaciones inducidas en un material ferromagnético aparecen en presencia de un campo magnético externo. Parte de esta magnetización inducida si es muy persistente en el tiempo y va unida a factores de estrés del material puede llegar a ser permanente.

Esta característica de los buques los hace magnéticamente visibles en el entorno de su localización. El campo magnetostático no se propaga y decrece potencialmente con la distancia. Esto hace que la indiscreción magnética que presenta un buque sea identificador inequívoco de su paso por una zona determinada.

La mina magnética fue utilizada por primera vez en la segunda guerra mundial mediante el minado aéreo de zonas costeras de Inglaterra y del río Támesis que provocó misteriosos hundimientos de mercantes y graves daños al acorazado HMS Nelson [1]. El misterio se disipó cuando se descubrió uno de los extraños objetos lanzados por un avión alemán en aguas poco profundas; era una de las armas secretas de Hitler: la mina magnética.

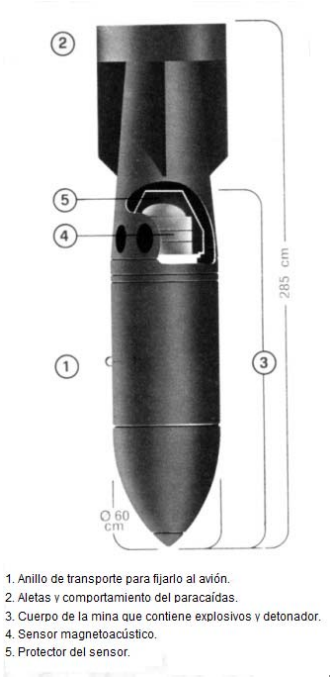



**Figura 2:** Mina magnética alemana de la 2ª Guerra Mundial.

Las magnetizaciones del buque pueden ser medidas desde el exterior y su representación gráfica queda plasmada en lo que se conoce como firma magnética. La firma magnética representa los valores máximos de campo magnético del buque medido a una determinada profundidad desde proa hasta popa.

La firma magnética puede ser minimizada mediante dos procedimientos, la desmagnetización o *deperming* y la calibración magnética. El *deperming* consiste en rodear al buque con un cable en forma de solenoide para que mediante pulsos sucesivos de corriente eliminar la mayor parte de las magnetizaciones permanentes. La calibración magnética se realiza con las bobinas de *de-*

*gaussing* instaladas en el interior del buque en su construcción. Se trata de introducir las corrientes adecuadas para generar un magnético de signo contrario al producido por las magnetizaciones del buque.

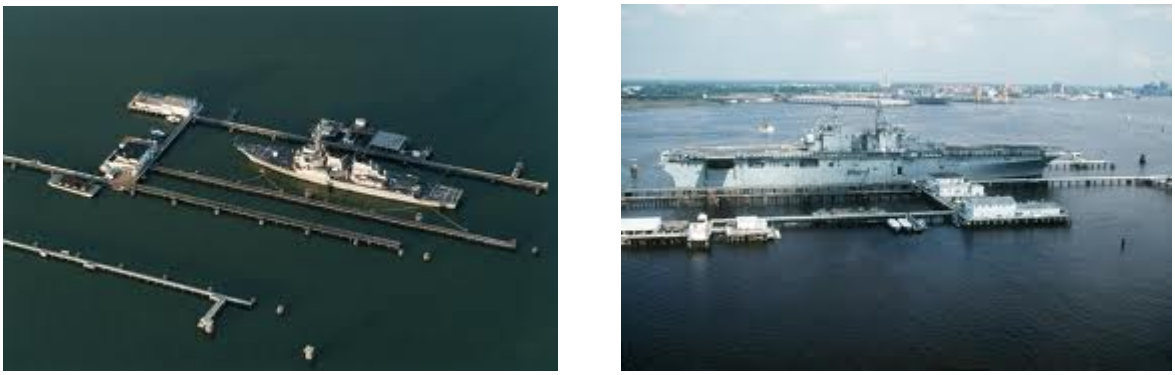


**Figura 3:** Estación de *deperming* de Lambert's Point, Norfolk.

**La Magnetización del Buque**

El comportamiento de las magnetizaciones permanentes e inducidas de un material ferromagnético queda reflejado en la curva de histéresis (figura 4). Sin la aplicación de un campo magnético externo el material tiene una magnetización permanente ***Bp***. El ciclo de histéresis muestra el recorrido del valor del magnetismo permanente cuando se le aplica un campo magnético externo [2,3]. En el caso de un buque su magnetización total va a oscilar en las inmediaciones de ***Bp***, lo que permite trabajar con la hipótesis de zona lineal donde el campo magnético inducido en el material es proporcional al campo inductor. La constante de proporcionalidad es la permeabilidad de medio.

La inducción magnética o densidad de flujo magnético total $\vec{B}_{\mathrm{T}}$ medida por un sensor magnético puede descomponerse en una parte permanente $\vec{B}_{\mathrm{P}}$ (producida por las magnetizaciones permanentes del buque) y otra inducida $\vec{B}_{\mathrm{I}}$. La componente inducida, en presencia del campo magnético terrestre $H_{\vec{Tierra}}$ , es proporcional a éste según el valor de la permeabilidad magnética del medio $\mu_r$.

$$\vec{B}_{\mathrm{T}} = \vec{B}_{\mathrm{P}} + \vec{B}_{\mathrm{I}} = \vec{B}_{\mathrm{P}} + \mu \cdot H_{\vec{Tierra}} = \vec{B}_{\mathrm{P}} + \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H_{\vec{Tierra}} \tag{1}$$

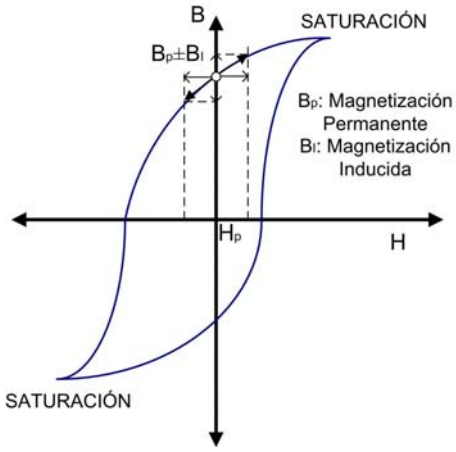



**Figura 4:** Curva de histéresis de un material ferromagnético.

Existen en los buques otros dos tipos de magnetismo, el debido a los campos dispersos producido por los equipos en funcionamiento de a bordo, y el debido a las corrientes de Foucault producido por las corrientes inducidas al moverse el buque a través de las líneas de fuerza del campo magnético terrestre. Estos campos magnéticos son difíciles de compensar y no se van a tener en cuenta en este trabajo.

En general, considerando los momentos magnéticos de los átomos podemos hablar de que cualquier material magnético está compuesto por infinitos momentos dipolares infinitesimales distribuidos por el material [4]. Se puede hablar de una densidad de momento dipolar por unidad de volumen $\vec{M}$ de tal manera que:

$$d\vec{m} = \vec{\mathrm{M}} \cdot d\vec{V} \tag{2}$$

El potencial vector asociado a este $d\vec{m}$ será:

$$d\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{m}(\vec{r}\,') \times (\vec{r} - \vec{r}\,')}{\left|\vec{r} - \vec{r}\,'\right|^3} \tag{3}$$

Luego,

$$d\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\vec{\mathrm{M}}(\vec{r}\,') \times (\vec{r} - \vec{r}\,')}{\left|\vec{r} - \vec{r}\,'\right|^3} \cdot dV' \tag{4}$$

El potencial vector en un punto ***r*** del espacio producido por el material será:

$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \int_{Buque} \frac{\vec{\mathrm{M}}(\vec{r}\,') \times (\vec{r} - \vec{r}\,')}{\left|\vec{r} - \vec{r}\,'\right|^3} \cdot dV' \qquad (5)$$

Según lo comentado anteriormente, podemos hablar de una densidad dipolar permanente y otra inducida, por lo que (5) quedará de la siguiente manera:

$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{Buque} \frac{\left[\vec{\mathrm{M}}_p\left(\vec{r}\,'\right) + \vec{\mathrm{M}}_I\left(\vec{r}\,'\right)\right] \times \left(\vec{r} - \vec{r}\,'\right)}{\left|\vec{r} - \vec{r}\,'\right|^3} \cdot dV' \qquad (6)$$

La inducción magnética medida en cualquier punto del espacio vendrá expresada de la manera siguiente:

$$\vec{B}(x,y,z) = \vec{\nabla} \times \vec{A} = \vec{\nabla} \times \left\{ \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{Buque} \frac{\left[\vec{\mathrm{M}}_p\left(\vec{r}\,'\right) + \vec{\mathrm{M}}_I\left(\vec{r}\,'\right)\right] \times \left(\vec{r} - \vec{r}\,'\right)}{\left|\vec{r} - \vec{r}\,'\right|^3} \cdot dV' \right\} \qquad (7)$$

$$\vec{B}(x,y,z) = \vec{B}_P(x,y,z) + \vec{B}_I(x,y,z) \qquad (8)$$

Dónde $\vec{B}_P(x,y,z)$ y $\vec{B}_I(x,y,z)$ corresponden a la densidad de flujo magnético producido por las magnetizaciones permanentes e inducidas, respectivamente.

**Medida de la magnetización del buque**

Para medir la inducción magnética que produce las magnetizaciones del buque se utilizan una serie de sensores magnéticos o magnetómetros dispuestos a una cierta distancia del mismo. Básicamente, existen dos tipos de estaciones de medida, las que miden con el buque navegando, “open range”, y las fijas, que miden con el buque atracado.

En el caso de las “open range” la disposición física de los magnetómetros es lineal y estarán sumergidos en fondo submarino a la misma profundidad. Sobre ellos el buque objeto de la medida realizará pasadas en direcciones “casi” perpendiculares. Este tipo de Estaciones son las utilizadas para la Calibración Magnética de los buques. Los Estaciones Fijas están dispuestos también en línea pero en vez de perpendiculares al buque siguen la línea de crujía. Suele haber varias líneas de magnetómetros paralelas, normalmente tres. Esta configuración se suele utilizar en las Estaciones de *Deperming*. En este trabajo trataremos del caso más complejo que es el de las “open range” ya que las fijas pueden considerarse una simplificación de las anteriores.

Como primer punto de partida se debe definir el sistema de referencia magnético del buque. En general, tanto las magnetizaciones permanentes como las inducidas del buque se pueden descomponer respecto de un sistema de referencia interno del buque en sus respectivas componentes vertical (eje Z), longitudinal (eje Y) y transversal (eje X). Se toma como se sentidos positivos los que presentaría un buque orientado (la proa) hacia el norte geográfico. El sistema de referencia cumpliría la ley de la mano derecha y tendría la siguiente configuración:

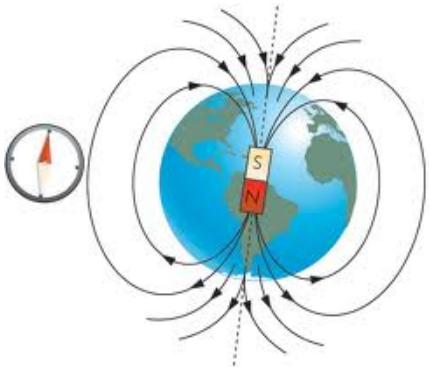



**Figura 5.** Campo magnético terrestre.

- Eje Z, vertical ($EjeZ : \vec{Er}Br \times \vec{Pp}\mathrm{Pr}$): de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba. Se tomará como valor positivo de arriba hacia abajo.
- Eje Y, longitudinal ($EjeY : \vec{Pp}\mathrm{Pr}$): de proa (Pr) a popa (Pp) o de popa a proa. Se tomará como valor positivo el sentido de popa a proa.
- Eje X, transversal ($EjeX : \vec{Er}Br$): de babor (Br) a estribor (Er) o de estribor a babor. Se tomará como valor positivo la dirección de estribor a babor.

**Figura 6.** Regla de la mano derecha.

Como se aprecia en (9) las componentes de la inducción magnética medidas por cada uno de los ejes de los magnetómetros dependen de todas las magnetizaciones presentes en el buque.

$$\vec{\mathrm{B}}(x,y,z_0) = \vec{\mathrm{B}}_P(x,y,z_0) + \vec{\mathrm{B}}_I(x,y,z_0) = (B_{PX}, B_{PY}, B_{PZ}) + (B_{IX}, B_{IY}, B_{IZ})$$
$$dónde\ \ B_{KS}(M_{KX}, M_{KY}, M_{KZ}) \begin{cases} \mathrm{S} \in \{\mathrm{X},\mathrm{Y},\mathrm{Z}\} \\ K \in \{\mathrm{P},\mathrm{I}\} \end{cases} \qquad (9)$$

La inducción magnética $\vec{\mathrm{B}}$ medida en la línea de sensores variará dependiendo del rumbo de éste, de la situación de la línea de magnetómetros y de las condiciones del entorno (estado meteorológico y de la mar). Por ello, cuando se hable de los diferentes $B_{KS}$ se hará referencia a los valores máximos de la densidad de flujo magnético medidos teniendo en cuenta la orientación de los sistemas de referencia del buque, de la línea de sensores y del campo magnético terrestre. Es decir, se tendrán en cuenta las consideraciones siguientes:

- Estado de la mar “mar 0”y sin mar de fondo (***EM₀***).
- Velocidad del viento cero para evitar desplazamientos transversales del buque (***VV₀***).
- $B_{PZ}$ será la inducción magnética medida por el eje vertical del magnetómetro producida por la magnetización permanente del buque en condiciones de $EM_0$ y $VV_0$.
- $B_{PX}$ será la inducción magnética medida por el eje transversal del magnetómetro (dirección de la línea de los sensores magnéticos situados en dirección Norte-Sur magnético) produ-

cida por la magnetización permanente del buque en condiciones de ***EM₀*** y ***VV₀*** cuando el buque se desplaza perpendicular a él.

- ***$B_{PY}$*** será la inducción magnética medida por el eje longitudinal del magnetómetro (dirección perpendicular a la línea de los sensores magnéticos situados en dirección Este-Oeste magnético) producida por la magnetización permanente del buque en condiciones de ***$EM_0$*** y ***$VV_0$*** cuando el buque se desplaza perpendicular a él.
- ***$B_{IZ}$*** será la inducción magnética medida por el eje vertical del magnetómetro producida por la magnetización inducida del buque en condiciones de ***$EM_0$*** y ***$VV_0$***.
- ***$B_{IX}$*** será la inducción magnética medida por el eje transversal del magnetómetro(dirección de la línea de los sensores magnéticos situados en dirección Norte-Sur magnético) producida por la magnetización inducida del buque en condiciones de ***$EM_0$*** y ***$VV_0$*** cuando el buque se desplaza perpendicular a él (Este-Oeste magnético).
- ***$B_{IY}$*** será la inducción magnética medida por el eje longitudinal del magnetómetro (dirección perpendicular a la línea de los sensores magnéticos situados en dirección Este-Oeste magnético) producida por la magnetización inducida del buque en condiciones de ***$EM_0$*** y ***$VV_0$***.

Cada una de estas inducciones magnéticas tiene influencias de las magnetizaciones verticales, transversales y longitudinales del buque. Descomponiendo (9) en dichas magnetizaciones se obtiene la ecuación (10).

$$\vec{\mathrm{B}}[S] = \vec{\mathrm{B}}\{S\}_P(x,y,z) + \vec{\mathrm{B}}\{S\}_I(x,y,z) = \sum_{S=P,I}\sum_{m=x,y,z}\vec{B}\{M_{Sm}\}(x,y,z) \qquad (10)$$

Cuando se mide la inducción magnética durante una pasada por la línea de magnetómetros se deben tener en cuenta dos rumbos, el de la pasada ($\varphi_P$) y el de la línea de magnetómetros ($\varphi_S$), y la profundidad a la que están situados los sensores ($z_0$). Teniendo en cuenta esto la ecuación (10) se expresaría de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
&\vec{\mathrm{B}}'[S]^{\mathrm{h}(\varphi_\mathrm{p},\varphi_s)}(x,y,z_0) = \sum_{S=P,I}\left[\{\beta_s\}\right]^{\mathrm{h}(\varphi_\mathrm{p},\varphi_s)} \cdot \vec{\mathrm{B}}\{S\}_S(x,y,z_0) = \\
&= \sum_{S=P,I}\sum_{m=x,y,z}\beta_{Sm}^{\mathrm{h}(\varphi_\mathrm{p},\varphi_s)} \cdot \vec{\mathrm{B}}\{M_{Sm}\}(x,y,z_0) \qquad (11)\\
&\beta_{Sm}^{\mathrm{h}(\varphi_\mathrm{p},\varphi_s)} \in [-1,1]
\end{aligned}$$

Los coeficientes $\beta_{Sm}^{\mathrm{h}(\varphi_\mathrm{p},\varphi_s)}$ que modificarían el valor del campo magnético medido por los sensores ($B_{PX}$, $B_{PY}$, $B_{PZ}$, $B_{IX}$, $B_{IY}$, $B_{IZ}$) son debidos al rumbo de la pasada y a la orientación de la línea de sensores. Los ángulos utilizados en las expresiones están todos referidos al norte geográfico.

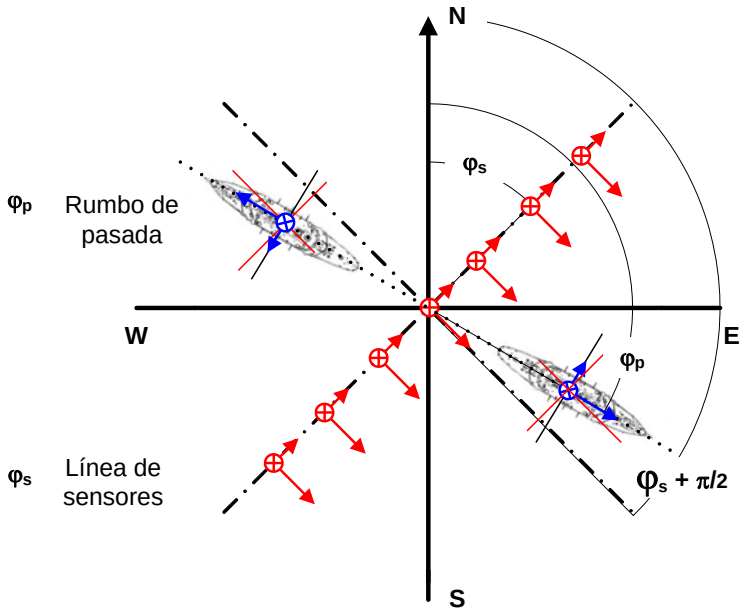



**Figura 7.** Medida magnetización permanente del buque.

La figura 7 muestra de forma esquemática la medida de la magnetización permanente de un buque durante una pasada por una base de magnetómetros dispuestos en línea. En este caso se puede ver que al cambiar el buque de rumbo las magnetizaciones permanentes del buque son fijas dentro de éste.

Los coeficientes $\beta_{Pm}^{h(\varphi_p,\varphi_s)}$ de las componentes permanentes pueden expresarse matricialmente de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} B'_{Px} \\ B'_{Py} \\ B'_{Pz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_S - \varphi_P - \frac{\pi}{2}) & sen(\varphi_S - \varphi_P - \frac{\pi}{2}) & 0 \\ sen(\varphi_S - \varphi_P - \frac{\pi}{2}) & \cos(\varphi_S - \varphi_P - \frac{\pi}{2}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B_{Px} \\ B_{Py} \\ B_{Pz} \end{bmatrix} \qquad (12)$$

La figura 8 muestra la medida de la magnetización inducida de un buque durante una pasada por una base de magnetómetros dispuestos en línea. Las definiciones de ángulos son las mismas que el caso de magnetizaciones permanentes. El único cambio que se le ha añadido es la existencia de una declinación magnética respecto al norte geográfico por lo que el valor de las componentes inducidas estará relacionado con el máximo inducido en la dirección norte para la componente longitudinal del campo y en la dirección este para la componente transversal. En este caso las magnetizaciones inducidas permanecen constantes referidas al sistema de referencia geográfico, es decir, no cambian a rumbos opuestos. Los coeficientes $\beta_{Im}^{h(\varphi_p,\varphi_s)}$ que afectan a la parte inducida pueden expresarse matricialmente de la siguiente manera:

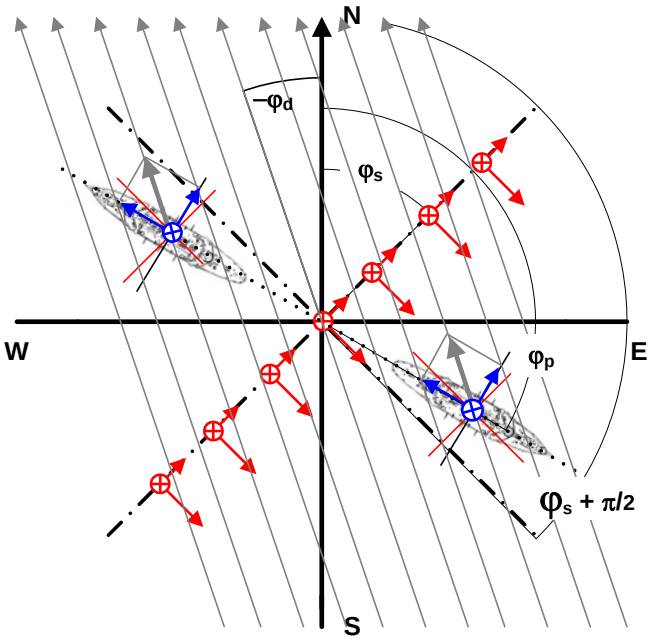



**Figura 8.** Medida magnetización inducida del buque.

$$\begin{bmatrix} B'_{Ix} \\ B'_{Iy} \\ B'_{Iz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_P - \varphi_d) & sen(\varphi_P - \varphi_d) & 0 \\ sen(\varphi_P - \varphi_d) & \cos(\varphi_P - \varphi_d) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B_{Ix} \\ B_{Iy} \\ B_{Iz} \end{bmatrix} \tag{13}$$

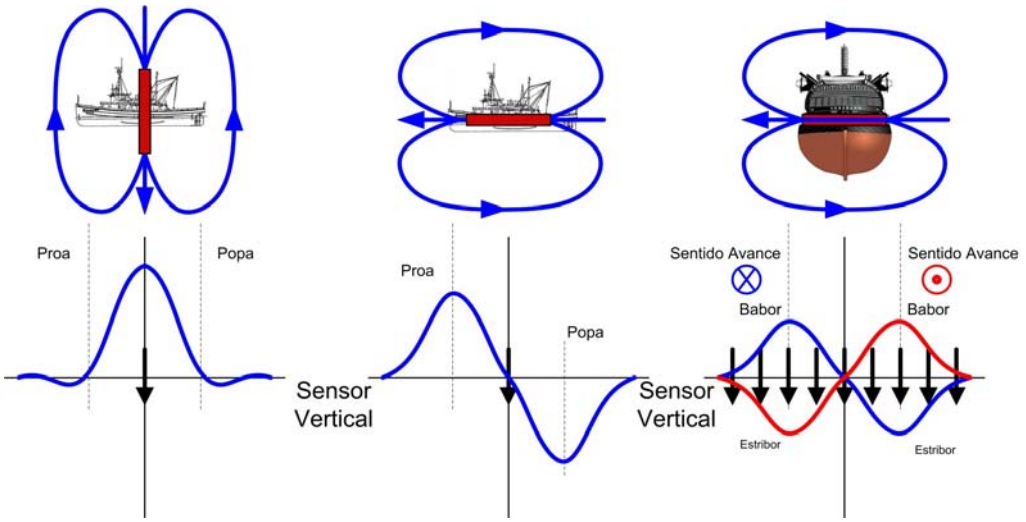



**Figura 9.** Ejemplos de firma magnética medida por una línea de magnetómetros verticales para los tres tipos de magnetizaciones, verticales, longitudinales y transversales.

En la figura 9 se muestran varios ejemplos de la firma magnética medida por una estación de medida de magnetómetros verticales suponiendo que el buque se comporta como un dipolo magnético ideal de tres componentes. Cada una de estas componentes se corresponde con las diferentes magnetizaciones del buque. Las componentes vertical y longitudinal (ejes Z e Y, respectivamente) representan el máximo de la evolución temporal durante la pasada del campo magnético medido por todos los magnetómetros. Para la medida de la componente transversal (eje X), se toman los valores máximos para cada instante de tiempo de todos los magnetómetros. Una firma magnética real de un buque es la combinación de las tres dónde la separación de cada una de las componentes no es tan evidente.

**Correcciones de la Zona de Medida**

El valor del campo magnético de un buque medido en una zona geográfica pueden transponerse a la zona de operación (dónde el buque va a operar habitualmente) aplicando a la ecuación (11) nuevos coeficientes. Estos coeficientes sólo afectarán a la parte inducida, ya que es la única que como se vio anteriormente varía con la intensidad del campo magnético terrestre. A continuación se muestra cómo quedaría la expresión matemática aplicando esta corrección.

$$\vec{\mathrm{B}}'\left[S\right]_{Zop}^{\mathrm{h}(\varphi_{\mathrm{p}},\varphi_{\mathrm{s}})}(x,y,z_0)=\sum_{S=P,I}\sum_{m=x,y,z}\beta_{Sm}^{\mathrm{h}(\varphi_{\mathrm{p}},\varphi_{\mathrm{s}})}\Big|_{Zop}\cdot\vec{\mathrm{B}}\{M_{Sm}\}(x,y,z_0)$$

$$\begin{aligned}
&\beta_{Sm}^{\mathrm{h}(\varphi_{\mathrm{p}},\varphi_{\mathrm{s}})}\Big|_{Zop}=\beta_{Sm}^{\mathrm{h}(\varphi_{\mathrm{p}},\varphi_{\mathrm{s}})}\cdot\alpha_{Sm}^{Zop}\\
&\alpha_{\mathrm{Im}}^{Zop}=\frac{\mathrm{B}\{Zona\ operación\}}{\mathrm{B}\{Zona\ medida\}}\Big|_{\mathrm{Im}}=\frac{\mathrm{B}\{Zop\}}{\mathrm{B}\{Zm\}}\Big|_{\mathrm{Im}}\\
&\beta_{Sm}^{\mathrm{h}(\varphi_{\mathrm{p}},\varphi_{\mathrm{s}})}\in[-1,1]\\
&\alpha_{Pm}^{Zop}=1
\end{aligned}\qquad(14)$$

**Errores en la medida de la Magnetización del buque**

Durante la medida de las magnetizaciones de un buque en una Estación de Medida tipo "open range" se producen errores debido al estado de la mar y a las condiciones meteorológicas. Dichos errores están relacionados con los ángulos de cabeceo, balanceo, guiñada y abatimiento. La expresión (12) para la inducción magnética permanente teniendo en cuenta dichos ángulos quedaría de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix}B'_{Px}\\B'_{Py}\\B'_{Pz}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}sen(\varphi_P-\varphi_S)\cdot\cos(\varphi_b)\cdot\cos(\varphi_g+\varphi_a) & -\cos(\varphi_P-\varphi_S)\cdot sen(\varphi_g+\varphi_a) & sen\varphi_b\\ -\cos(\varphi_P-\varphi_S)\cdot sen(\varphi_g+\varphi_a) & sen(\varphi_P-\varphi_S)\cdot\cos(\varphi_c)\cdot\cos(\varphi_g+\varphi_a) & sen\varphi_c\\ sen(\varphi_b)\cdot sen(\varphi_g+\varphi_a) & sen(\varphi_c)\cdot\cos(\varphi_g+\varphi_a) & \cos(\varphi_b)\cdot\cos(\varphi_c)\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}B_{Px}\\B_{Py}\\B_{Pz}\end{bmatrix}$$

$\varphi_c$ : *cabeceo*; $\varphi_b$ : *balanceo*; $\varphi_g$ : *guiñada*; $\varphi_a$ : *abatimiento.*

(15)

Del mismo modo la expresión (13) para la componente inducida quedaría como se muestra a continuación:

$$\begin{bmatrix}B'_{Ix}\\B'_{Iy}\\B'_{Iz}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}sen(\varphi_P-\varphi_S)\cdot\cos(\varphi_b)\cdot\cos(\varphi_g+\varphi_a) & -\cos(\varphi_P-\varphi_S)\cdot sen(\varphi_g+\varphi_a) & sen\varphi_b\\ -\cos(\varphi_P-\varphi_S)\cdot sen(\varphi_g+\varphi_a) & sen(\varphi_P-\varphi_S)\cdot\cos(\varphi_c)\cdot\cos(\varphi_g+\varphi_a) & sen\varphi_c\\ sen(\varphi_b)\cdot sen(\varphi_g+\varphi_a) & sen(\varphi_c)\cdot\cos(\varphi_g+\varphi_a) & \cos(\varphi_b)\cdot\cos(\varphi_c)\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}B_{Ix}\\B_{Iy}\\B_{Iz}\end{bmatrix}$$

$\varphi_c$ : *cabeceo*; $\varphi_b$ : *balanceo*; $\varphi_g$ : *guiñada*; $\varphi_a$ : *abatimiento.*

(16)

## Conclusiones

Los buques presentan una indiscreción magnética en el lugar dónde está localizado debido a las magnetizaciones permanentes e inducidas de los materiales ferromagnéticos utilizados en su construcción.

La medida de dichas magnetizaciones se realiza mediante pasadas sobre una línea de magnetómetros dispuestos en dirección perpendicular al rumbo. Dependiendo de la orientación de los sensores y del rumbo de las pasadas los valores medidos presentan correcciones trigonométricas debidas a dichos ángulos.

También existen errores en la medida en la medida que pueden ser cuantificados debido a los ángulos de cabezada, balance, guiñada y abatimiento.

## Bibliografía

[1] (http://www.exordio.com/19391945/militaris/armamento/magneticas.html)

[2] Timothy M. Baynes "Analysis of the Desmagnetisation Process and Possible Alternative Magnetic Treatments for Naval Vessels". *Tesis doctoral Febrero 2002*.

[3] Roald K. Wangsness "Campos Electromagnéticos".

[4] X. Brunotte, G. Meunier, "Line Element for Efficient Computation of the Magnetic Field Created by Thin Iron Plates", *IEEE Transaction On Magnetics, Vol. 26, No. 5, September 1990*.

# NUEVO SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN EN EL AIRE

**F. Javier García García**
**Grupo Integra (www.integraciones.com)**

**Resumen**

Se presenta una nueva tecnología para la detección automática de partículas en suspensión (humo, polvo, contaminantes,...), basada en la captación de la radiación retrodispersada por éstas cuando se las ilumina con un haz electromagnético de características muy singulares. La tecnología se materializa en una serie de sistemas, de distintas prestaciones. La versión no-láser de la tecnología da lugar a un sistema autónomo y automático que barre una superficie superior a las 3000 Ha en menos de 3 minutos, no requiere de supervisión humana, más que cuando se produce una alarma, y funciona mucho mejor de noche que de día.

El mecanismo de detección es bastante insensible a la temperatura del foco y no requiere que ésta sea suficientemente elevada, como ocurre con muchos sistemas de detección térmica. En el caso de fuego, esto permite que la detección se produzca en una fase muy incipiente, cuando prácticamente aún no hay llama.

Se estudian los principios físicos de la tecnología, el proceso de funcionamiento y detección, los componentes del sistema y las razones que han llevado a adoptar los valores que lo configuran. Se presenta un ejemplo numérico que muestra las dificultades para separar y distinguir la pequeña radiación retrodispersada de la luz solar ambiente. Se analiza un caso real de detección remota de una pequeña columna de humo a 3 Km de distancia., mostrándose las curvas de retrodispersión y el pico de detección. También se discuten las condiciones de instalación y funcionamiento óptimo de los sistemas en sus emplazamientos.

## 1. Introducción

Este trabajo pretende describir una nueva tecnología para la detección precoz de masas de partículas suspendidas en el aire (humo, polvo, contaminantes...), que se ha materializado en un sistema que ya se está presentando al mercado. El principio físico en que se basa es la captación y análisis de la radiación dispersada por una nube de partículas (Diana), al ser iluminada por un haz singular electromagnético (HSEM) que el propio sistema genera.

El sistema es totalmente autónomo y automático, muy precoz y en su versión no-láser tiene un rango de detección superior a 3 Km, es decir, más de 3000 Ha. Con un emisor láser la distancia de detección supera la decena de km, al depender de la potencia emitida. Responde a Dianas muy tenues que tienen una antigüedad inferior a 3 minutos, es decir, a nubes de partículas que se acaban de generar. Además, es mucho más eficaz de noche que de día, como se verá más adelante.

Se denominará Diana a la masa de partículas en suspensión que se pretende detectar. En general, corresponderá a la columna de humo producida en un incendio, a la nube de polvo que levantan los vehículos al avanzar por terrenos secos y polvorientos, al escape contaminante de una industria, etc. Cuando la radiación electromagnética incide sobre la diana, ésta la dispersa en todas las direcciones. Un detector es capaz de captar esta radiación dispersada en una dirección distinta a la de incidencia. Esta detección se interpreta como prueba de la existencia de la diana. En circunstancias normales, cuando no existe diana, la radiación emitida se pierde al infinito y no llega señal apreciable al detector.

Este principio exige iluminar la diana con un haz de suficiente intensidad, para que la radiación dispersada tenga una intensidad residual medible. Para obtener dicha intensidad existen dos métodos obvios: utilizar luz coherente (láser) o utilizar luz no coherente y colimarla con un sistema óptico adecuado. La utilización del láser en aplicaciones civiles, no militares, está fuertemente restringida y no es fácil obtener homologaciones para su uso generalizado en espacios exteriores. Esto obligó a pensar en soluciones con haz de luz no coherente, a la que un sistema óptico se encargaría de concentrar hasta los niveles de inten-

sidad requeridos. Este sistema no-láser es el que se está lanzando al mercado y los ejemplos que se mostrarán están realizados con él. Los sistemas basados en láser se fabrican bajo pedido.

En resumen, la tecnología presentada se basa en captar la retrodispersión causada por una masa de partículas sobre un HSEM que el propio sistema genera y emite. Se denomina retrodispersión (*backscattering*) a la radiación dispersada que se recibe a 180º de la radiación incidente. La figura 1 muestra una fotografía del equipo completo, en su configuración actual.

**Fig. 1: Sistema de detección automática de incendios forestales.**
**La montura permite movimientos de giro azimutal y cenital.**

## 2. Fundamentos físicos

Cuando las ondas electromagnéticas interaccionan con partículas materiales se producen dos fenómenos que afectan a la propagación de aquellas: la **absorción** y la **dispersión** (*scattering*). El efecto conjunto de ambas se denomina **extinción**, porque afecta negativamente a la energía propagada por el frente de ondas. La intensidad de la onda que incide sobre una masa de partículas se ve disminuida por el fenómeno de la extinción (ver figura 2).

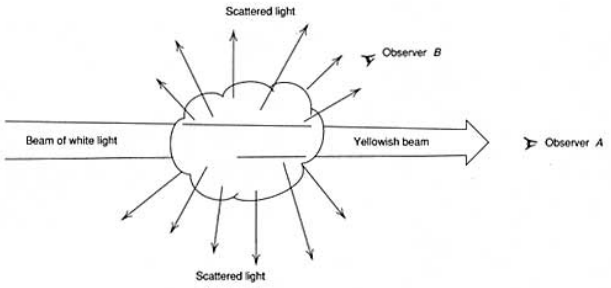



**Fig. 2: Fenómeno de la dispersión. Al observador A corresponde un ángulo de dispersión de 0º, al observador B un ángulo de dispersión de 30º aproximadamente**.

De los dos factores que componen la extinción, es la dispersión la que interesa destacar en este artículo, por ser el fenómeno que se utiliza en la tecnología que se describe.

Es un principio físico bien conocido que una partícula material dispersa la radiación electromagnética que incide sobre ella. Las ondas electromagnéticas reaccionan ante la presencia de la partícula cambiando su dirección, intensidad, fase, energía y polarización. En algunos casos hasta cambia la longitud de onda. El patrón de dispersión de una partícula depende, entre otros factores, de la longitud de onda de la radiación incidente. Denominando $x$ al cociente adimensional:

$$x = \frac{\pi d}{\lambda} \quad (1)$$

en el que $d$ es una dimensión típica de la partícula (el diámetro si es esférica) y $\lambda$ es la longitud de onda de la luz incidente, se pueden distinguir tres casos:

- $x \ll 1$ **(Dispersión de Rayleigh)**

Cuando la partícula es mucho más pequeña que la longitud de onda de la radiación incidente, se dice que estamos en el dominio de la Dispersión de Rayleigh. Ésta se caracteriza por ser simétrica respecto al ángulo de dispersión (ver figura 3) y por depender fuertemente del valor de $x$. Es decir, una partícula generará una intensidad de luz dispersada mucho mayor si se ilumina con luz de $\lambda$ pequeña, que si se hace con $\lambda$ grande. La dispersión es varios órdenes de magnitud más eficiente si se disminuye la longitud de onda. Además, la intensidad de retrodispersión es similar a la de dispersión frontal a pequeños ángulos.

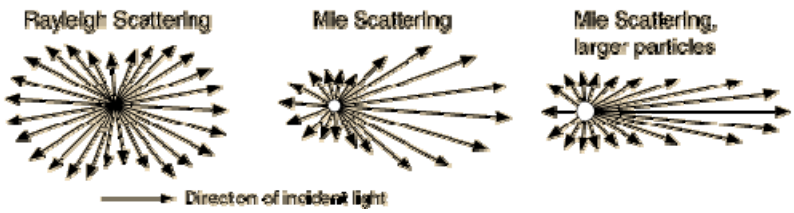



**Fig. 3: Patrón de dispersión para diferentes tamaños de partículas.**

La intensidad de la radiación dispersada por una partícula, expresada en W/m$^2$ (también denominada Irradiancia en Óptica), es (véase [Hul81]):

$$I = I_0 \frac{(1 + cos^2\theta)k^4|\alpha|^2}{2R^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad (2)$$

en la que $k = 2\pi/\lambda$ es el número de onda, $\theta$ es el ángulo en el que se mide la intensidad de la radiación dispersada (ángulo de dispersión), $R$ es la distancia desde la partícula al punto de observación y $\alpha$ es la polarizabilidad de la partícula (en general, un número complejo). Nótese que la fórmula de Rayleigh es simétrica respecto a $\theta$.

En el caso de una esfera, la polarizabilidad es (véase [Hul81]):

$$\alpha = \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} r^3 \quad [\text{m}^3] \quad (3)$$

siendo $r$ el radio de la partícula y $m$ el índice de refracción que, en general, será complejo.

En la ecuación (2) se puede comprobar que la intensidad $I$ depende de $r^6$, o de $x^4$. En el caso de partículas pequeñas esto da lugar a una intensidad dispersada muy baja. Nótese, por ejemplo, que a igual $\lambda$ la intensidad de la radiación dispersada aumenta en $10^4$ si el tamaño de partícula aumenta en 10. Este fenómeno desaconseja utilizar una fuente de luz con longitud de onda dentro del dominio de Rayleigh, a pesar de que la retrodispersión sea idéntica a la dispersión frontal.

- $x \approx 1$ **(Dispersión de Mie)**

Es el caso más general. Al no poder hacerse aproximaciones, las ecuaciones de Maxwell deben ser resueltas completamente. La solución adopta la forma de una serie infinita de términos que se resuelve por métodos computacionales (véase [Hul81]). Una de las características de la dispersión de Mie es que la radiación dispersada no es simétrica respecto al ángulo de dispersión, siendo mayor la propagación frontal que la retrodispersión (ver figura 3). Este fenómeno es más acusado mientras mayor sea la partícula. En general, la intensidad de la dispersión de Mie es varios órdenes de magnitud superior a la de Rayleigh.

En el dominio de Mie la intensidad de la radiación dispersada es muy poco dependiente de la longitud de onda. Es, por tanto, el dominio más recomendable para la detección de partículas.

- $x \gg 1$ **(Dispersión geométrica)**

Para partículas mucho mayores que la longitud de onda con que se iluminan, la dispersión puede ser descrita mediante los métodos de la Óptica Geométrica (reflexión, refracción,...) y también mediante la Teoría de la Difracción. La reflexión puede ser especular o difusa. En el dominio geométrico la dispersión es muy dependiente del tamaño y orientación de las partículas relativa al haz de luz incidente, así como de las condiciones de su superficie. Para detectar partículas pequeñas (p.ej. humo de 1 m), la utilización del dominio geométrico obligaría a utilizar radiación ultravioleta lejana, muy energética y peligrosa, por lo que no es viable.

## 3. Descripción del sistema

El procedimiento básico de funcionamiento del sistema es el siguiente:

- El sistema es capaz de reconocer el emplazamiento en que se encuentra y determinar cuál es la línea del horizonte $h(\phi, \theta)$, es decir, qué cénit corresponde a cada azimut (ver figura 4).
- Genera un haz de luz fácilmente identificable y de características muy controladas, denominado Haz Singular Electromagnético (HSEM). El sistema es capaz de distinguir este HSEM de cualquier otra radiación existente en el entorno.
- El HSEM se dirige hacia el infinito, justo por encima del horizonte. El sistema va rotando, recorriendo el rango de azimut $\phi$ que define el área protegida (normalmente $(0, 2\pi)$), emitiendo de forma continua el HSEM.
- El sistema emplea un tiempo pequeño (<3 min) en barrer el área protegida, y repite continuamente este movimiento de barrido.
- Si el horizonte está libre (situación normal), el sistema sólo recibe la retrodispersión generada por el aire, que es muy pequeña al ser $x \ll 1$ en este caso (dispersión de Rayleigh).
- Si una diana aparece sobre el horizonte, formada por partículas con $x \approx 1$, se produce la dispersión de Mie, cuya intensidad es muy superior a la de Rayleigh. La retrodispersión producida llega al sistema que la detecta e identifica.
- La señal detectada se procesa a fin de discriminar las falsas alarmas.
- Si la señal detectada presenta características asimilables a las generadas por una Diana, el sistema toma una fotografía de ésta y la envía al centro de control.
- A la vista de la información recibida, en el centro de control se toman las decisiones pertinentes.

Como puede apreciarse, el sistema no declara la alarma directamente, sino que avisa al centro de control y le proporciona la evidencia documental necesaria para tomar la decisión correcta.

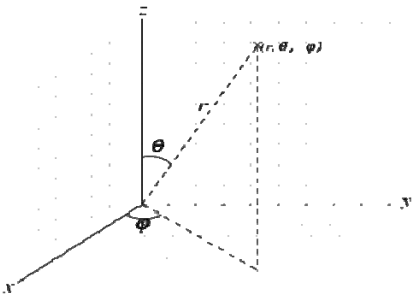



**Fig. 4: Coordenadas azimut-cénit $(\phi, \theta)$ que definen el movimiento angular del sistema.**

**Fig. 5: Vista de la cara frontal del sistema, con el receptor (izquierda), el emisor (derecha) y la cámara de vídeo (arriba).**

El sistema, en su configuración básica, consta de los siguientes elementos (ver figura 5):

- EMISOR: Existe una configuración con láser y otra con LED.
- RECEPTOR: Recibe la fracción retrodispersada del HSEM con una relación señal/ruido extremadamente pequeña ($<10^{-9}$).
- ELECTRÓNICA DE PROCESO: El proceso de detección está basado en la aplicación reiterada de unos algoritmos capaces de obtener la señal que se busca dentro de un nivel de ruido muy superior. Se requiere una capacidad de cálculo bastante notable, y un control muy afinado de todos los elementos que componen el sistema. Para obtener estos resultados se ha dotado al sistema de cinco microprocesadores, cada uno de los cuales ejecuta una misión: cálculo matemático, gestión global del sistema, movimiento de la montura, gestión del vídeo, atención a las comunicaciones, mecanismos de compensación contra vibraciones, cambios de inclinación, etc.
- CÁMARA DE VÍDEO: Puede ser una cámara estándar, térmica, infrarroja, etc.
- ELECTRÓNICA DE COMUNICACIÓN: Normalmente WiFi, UMTS/3G o un radioenlace.
- MONTURA AZIMUTAL-CENITAL.
- FUENTE DE ALIMENTACIÓN: La potencia nominal promedio es de 18 W a 12 Vcc.
- SOFTWARE: A fin de ahorrar recursos, se ha programado la mayor parte del *software* en muy bajo nivel.
- CARCASA PROTECTORA.

A continuación se explican algunos de los criterios que llevaron a la selección de los valores que actualmente caracterizan al sistema. Se tomará como Diana una columna de humo.

Según se desprende de [DeV89], [McM04], [RHN91] y [RLH90], en un incendio forestal se produce un porcentaje apreciable de partículas de humo con un tamaño del orden de 150 nm a 500 nm. Esto invita a utilizar un HSEM con una longitud de onda similar, para entrar en el dominio de la dispersión de Mie, $x \approx 1$. Por razones prácticas, interesa que el HSEM no esté dentro del rango visible. Además, interesa utilizar una longitud de onda a la cual la radiación solar esté especialmente atenuada, para aumentar la relación señal/ruido. La figura 6 muestra el espectro de la radiación solar a nivel de la superficie terrestre. Puede notarse que en torno a 950 nm la radiación solar tiene un mínimo acusado, correspondiente a una de las frecuencias de absorción del agua. Por tanto, parece razonable utilizar un HSEM de 950 nm, que cumple la tres condiciones requeridas: $x \approx 1$, no es radiación visible (es infrarroja) y la luz solar está atenuada a esta longitud de onda.

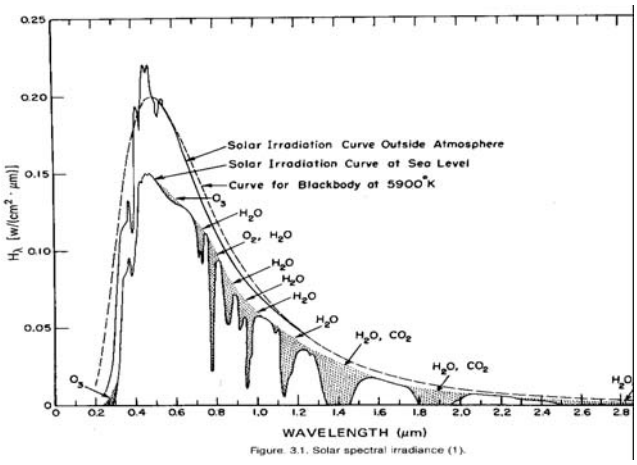



**Fig. 6: Espectro de la radiación solar que llega a la superficie terrestre.**
**Nótese el corte en torno a 0.95 μm.**

El emisor utiliza una fuente de luz infrarroja de 950 nm, con una potencia óptica de 4.5 W de pico y 3 W en modo continuo. Teniendo en cuenta que el sistema óptico del emisor la comprime hasta un ángulo sólido de 0.001 sr, se obtiene un HSEM de intensidad próxima a 3000 W/sr.

La intensidad de retrodispersión recibida en el detector es extraordinariamente pequeña. El siguiente cálculo aproximado muestra la magnitud de la tarea que supone detectar la pequeña fracción del HSEM retrodispersado por una nube de humo. Si se supone una ventana de absorción en el detector de unos 50 nm, según la figura 6 la irradiancia del sol en esa ventana alrededor de 950 nm es de unos 0.025 W/cm$^2$ μm $\times$ 0.05 μm = 12.5 W/m$^2$.

El sistema emite una potencia de 3 W en una ventana de 50 nm alrededor de 950 nm, con una intensidad de 3000 W/sr, en un ángulo sólido de 0.001 sr, con lo que a 3 Km de distancia del emisor se obtiene la irradiancia que se calcula a continuación. El área subtendida por el ángulo sólido a 3000 m es de 0.001 sr $\times$ 9000000 m$^2$= 9000 m$^2$, que es iluminada por los 3 W totales emitidos por el sistema. La irradiancia correspondiente al HSEM en la zona iluminada es de 3 W / 9000 m$^2$= 3.33 10$^{-4}$ W/m$^2$. La *ratio* entre la irradiancia del HSEM y la del sol, a 3 Km de distancia del emisor, es de 3.33 10$^{-4}$ / 12.5 = 2.66 10$^{-5}$. Pero esta *ratio* se produce a 3 Km de distancia del sistema, donde está el humo, no en el receptor. Al receptor sólo llega una pequeña fracción de los 3.33 10$^{-4}$ W/m$^2$ que iluminan la columna de humo. [MTL04] ofrece un valor aproximado de 10$^{-4}$ para el cociente $I(180)/I_0$ (intensidad en retrodispersión respecto a la intensidad incidente). Según este resultado aproximado, al detector llegarían unos 10$^{-8}$ W/m$^2$ del HSEM, junto con otros 12.5 W/m$^2$ de la radiación solar ambiente. En el detector la *ratio* es de 8 10$^{-10}$, lo que da una idea de la relación señal/ruido presente en el sistema.

El diseño de la electrónica, con un cuidadoso sistema de filtros y amplificación, y de los potentes algoritmos de cálculo que desarrolla el *software*, permite detectar esta minúscula señal dentro del gigantesco ruido que alcanza al detector. Por esta razón, el sistema tiene un rendimiento muy superior durante la noche, ya que el ruido ambiente (luz solar) es notablemente inferior, y la *ratio* anterior de 8 10$^{-10}$ deja de ser cierta. Debe recordarse que la radiación promedio recibida por la Tierra (constante solar) es de 1367 W/m$^2$, mientras que de noche la Tierra devuelve al espacio unos -80 W/m$^2$. Esta enorme diferencia justifica la extraordinaria eficiencia del sistema durante la noche.

Para mejorar la eficacia de la detección, en cada azimut se pueden definir los siguientes parámetros: potencia emitida, número de repeticiones, tiempo de muestreo, valor umbral de detección, sensibilidad, ganancia de amplificación y valor de ruido de fondo (*background*). Lo normal es que el sistema funcione con unos valores distintos de estos parámetros para cada ventana de ángulos azimutales. Esto dependerá del emplazamiento donde se instale.

Un sofisticado sistema de calibración óptica se encarga de garantizar el perfecto paralelismo de los ejes ópticos de todos los elementos que involucrados: emisor, receptor y cámara de vídeo.

## 4. Resultados de un ensayo real detectando humo

A continuación se presentan los resultados de un ensayo real. La figura 7 muestra el emplazamiento del ensayo. El humo se genera en la parte inferior de la fotografía y el sistema se coloca en la parte superior. La distancia entre ambos puntos es próxima a los 3 Km, exactamente 2,82 Km. El ensayo se realizó en un día soleado de verano, sin nubes en el cielo, aproximadamente al mediodía, con el aire bastante transparente.

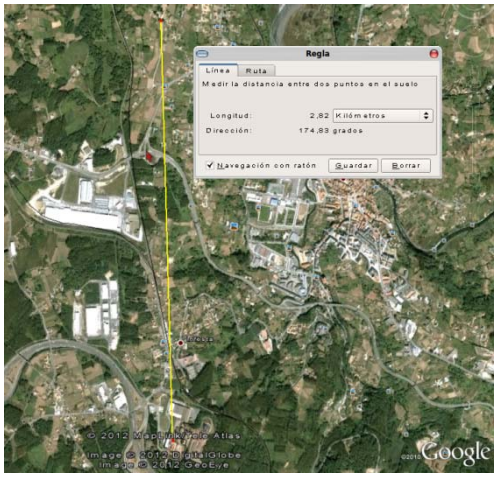



**Fig. 7: Emplazamiento del ensayo real de detección de humo. En la parte inferior se genera el humo, en la superior se sitúa el sistema. La distancia entre ambos puntos es de 2,82 Km**

**Fig. 8: Fotografía de la columna de humo, tal y como la registra la cámara de vídeo integrada en el sistema.**

La imagen que proporciona la cámara de vídeo integrada en el sistema se muestra en la figura 8. Puede observarse que la columna de humo es muy tenue, y apenas se distingue del cielo por encima de los árboles. Se comprobará que esta pequeña masa de humo es suficiente para generar una señal en el detector.

Las curvas mostradas en la figura 9 corresponden a las situaciones de: (a) HSEM enviado por encima del horizonte que no encuentra una masa de partículas que produzca retrodispersión, y que por tanto todo lo que se recibe es ruido ambiente, y (b) HSEM impacta sobre la pequeña columna de humo, se genera una retrodispersión que es captada por el detector (curva roja superior) y, tras un exhaustivo proceso de los datos, se obtiene el pico de detección (curva verde inferior). La presencia de este pico, por encima de un cierto valor prefijado y con una forma que se puede correlacionar con la naturaleza de la diana, permite determinar la existencia de humo por encima del horizonte. El valor pico está relacionado, de forma muy compleja, con la densidad óptica del humo.

El sistema detectó con seguridad la pequeña columna de humo que se aprecia en la figura 8.

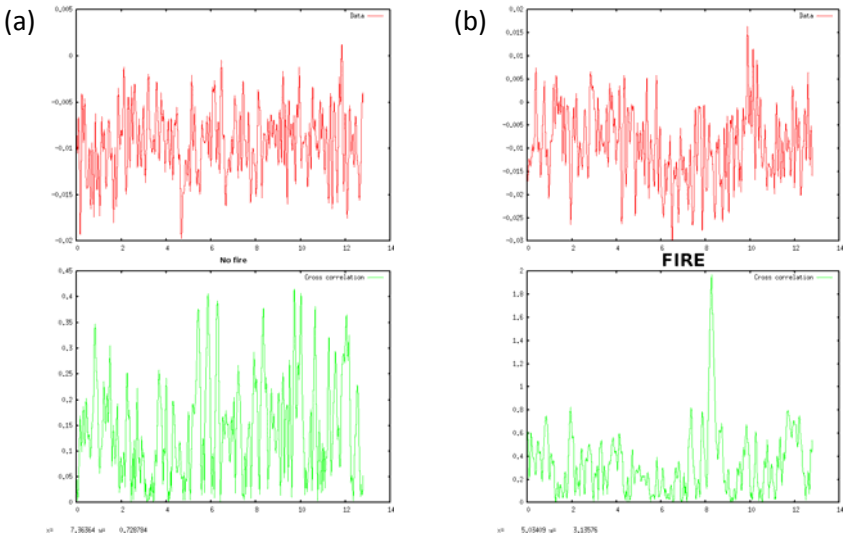



**Fig. 9: Curvas registradas por el sistema: en rojo los datos brutos recogidos por el detector, en verde los datos procesados.**
**(a) Curvas correspondientes a un HSEM al infinito, mostrando sólo ruido.**
**(b) Curvas correspondientes a la retrodispersión del humo, mostrando el pico de detección en la curva de datos procesados.**

## 5. Desarrollos futuros

El sistema presentado está en continua evolución y mejora. Constantemente se presentan oportunidades de ampliar sus capacidades o funcionalidades, frecuentemente indicadas por los propios usuarios.

Hay tres campos en los que ya se está trabajando para mejorar el sistema:

- Mejorar el *software* para discriminar más eficazmente las falsas alarmas.
- Añadir otros elementos que colaboren en identificar la Diana. Ésta tiene una signatura que puede caracterizarse mediante cámaras térmicas, analizadores de espectros o polarímetros, todos ellos perfectamente alineados con el eje óptico emisor-receptor. Estos elementos hacen al sistema prácticamente inmune a las falsas alarmas.
- Asociar varios equipos en una red más amplia, de modo que cada unidad emita su propio HSEM y sea receptivo al de los demás. Si, por ejemplo, se tienen dos unidades asociadas, U1 y U2, U1 emite el HSEM-1 y U2 el HSEM-2. U1 es capaz de detectar la retrodispersión de HSEM-1 y la dispersión de HSEM-2. Análogamente, U2 detectaría la retrodispersión de HSEM-2 y la dispersión de HSEM-1. De este modo, ambas unidades forman un sistema más amplio que es superior a la suma de las partes.

**Referencias**:


- [BH83] C.F. Bohren & D.R. Huffman “Absorption And Scattering Of Light By Small Particles”, 1983, Wiley.
- [DeV89] P.J. DeVries, “Analysis of Forest Fire Smoke Using Satellite Imagery”, 1989, PhD Naval Postgraduate School, Monterey, California.
- [DWE06] A. Doicu & T. Wriedt & Y. Eremin “Light scattering by systems of particles. Null-field method with discrete sources”, 2006, Springer.

- [Guo02] J. Guo et al, “Frequency Dependence Of Scattering By Dense Media Of Small Particles Based On Monte Carlo Simulation Of Maxwell Equations”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 40, No. 1, January 2002
- [Hul81] H.C. van de Hulst “Light Scattering by Small Particles” 1981, Dover Publications Inc.
- [Kok08] A.A. Kokhanovsky “Aerosol Optics-Light Absorption and Scattering by Particles in the Atmosphere”, 2008, Springer.
- [McM04] G.R. McMeeking “Size Distribution Measurements of Wildfire Smoke-influenced Aerosol at Yosemite National Park”, 2004, PhD Colorado State University.
- [MHT00] M.I. Mishchenko & J.W. Hovenier & L.D. Travis “Light Scattering by Nonspherical Particles - Theory, Measurements and Applications”, 2000, Academic Press.
- [MTL04] M.I. Mishchenko & L.D. Travis & A.A. Lacis “Scattering, Absorption and Emission of Light by Small Particles”, 2004, NASA Goddard Institute for Space Studies.
- [RHN91] L.F. Radke et al, “Airborne Studies of the Smokes from a Boreal Biomass Fire in Alaska, 1990”, 1991, US Department of Agriculture, INT-89426-RJVA.
- [RLH90] L.F. Radke et al, “Airborne Monitoring and Smoke Characterization of Prescribed Fires on Forest Lands in Western Washington and Oregon: Final Report”, 1990, US Department of Agriculture, PNW-GTR-251.
- [Ram05] A.G. Ramm “Wave Scattering By Small Bodies Of Arbitrary Shapes”, 2005, World Scientific Publishing Co.

# JORNADAS TÉCNICAS: "VEHÍCULOS NO TRIPULADOS DE APLICACIÓN NAVAL"

Entre los días 24 y 25 de abril de 2013, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales (ETSIAN), en colaboración con el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDG TECIN/DGAM), organizó las jornadas técnicas sobre "Vehículos No Tripulados de Aplicación Naval". Participaron expertos del ámbito de la Armada, la Universidad y la empresa privada.

El objetivo de las jornadas fue mostrar los avances y capacidades navales de los vehículos submarinos y de superficie no tripulados, así como divulgar el conocimiento de los principales exponentes de la investigación nacional en este sector.

Entre las instituciones presentes estuvieron la Universidad Politécnica de Cartagena (programa BUSCAMOS); la Universidad de Cantabria (programa NVSTENE); la Universidad Politécnica de Madrid (programa FuVe-E); la Universidad Complutense de Madrid (programa NECSAVE); Navantia (programa SIRAMICOR) y la Dirección General de Armamento del Ministerio de Defensa.

La inauguración de estas jornadas estuvo a cargo del Almirante Director de Enseñanza Naval, Marcial Gamboa Pérez-Pardo y la clausura por el Almirante Jefe de Personal, José Francisco Palomino Ulla quien apostó por la investigación en medio de un contexto de restricción económica.

**Clausura de las Jornadas**

# CONSEJO DE ENSEÑANZA
# AÑO 2013

Los días 11 y 12 de Junio se celebró en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales el Consejo de Enseñanza.

1. CN (CGA) D. JUAN LUIS SOBRINO PÉREZ-CRESPO (DIRECTOR ENM)
2. CN (CGA) D. MIGUEL A. IZQUIERDO DE LA IGLESIA (JEFE SECCION CyC)
3. COR. (CIM) D. MIGUEL A. FLORES BIENERT (DIRECTOR EIM)
4. COR. (CIM) D. RAFAEL ROLDAN TUDELA
5. CN (CGA) D. MANUEL ROMASANTA PAVÓN (SEMA)
6. CN (CGA) D. MANUEL CERDIDO MONTALBO (DIRECTOR ESUBO)
7. CN (CGA) D. JOSÉ MARÍA MARTÍNEZ NÚÑEZ (DIRECTOR ESENGRA)
8. CC (CGA) D. JAVIER SÁNCHEZ GARCÍA DE LEONARDO (CyC)
9. CN (CGA) D. FERNANDO POOLE QUINTANA (DIPER)
10. CN (CIA ) D. PEDRO RAMÓN SAURA INIESTA (DIRECTOR ETSIAN)
11. CA (CGA) D. MARCIAL GAMBOA PÉREZ-PARDO (ADIENA)
12. CN (CGA) D. ANTONIO GONZÁLEZ –LLANOS LÓPEZ (SECRETARIO DIENA)

# ACTO DE CLAUSURA DEL PERÍODO DE FORMACIÓN CURSO 2012/2013

Presidido por el ADIENA, CA D. MARCIAL GAMBOA PÉREZ-PARDO, y asistido por el Director de la ETSIAN, CN D. PEDRO RAMÓN SAURA INIESTA y el Director de la ETSIN, D. JESÚS PANADERO PASTRANA, el día 5 de julio se hizo entrega de los diplomas a los alumnos de los cursos del período formación.

La lección magistral de fin del curso 2012-2013 estuvo a cargo del Ilmo. Sr. Dr. D. Jesús Panadero Pastrana, Director de la ETSIN sobre el tema: "LA INGENIERÍA, SU ENSEÑANZA Y EL EJERCICIO DE LA PROFESIÓN".

Entre los invitados al acto de clausura asistieron, de izquierda a derecha, el CA D. JUAN ANTONIO CORNAGO DIUFAIN, el CA D. FRANCISCO HERNÁNDEZ MORENO y el VA D. ANTONIO SÁNCHEZ GODÍNEZ.

**Promoción XXIII de la Escala de Oficiales**

**AF. D. ALVARO GARCÍA SILVA**
**AF. Dª. Mª. PURIFICACIÓN AL-LAL BAEZA**
**AF. D. RAFAEL MORENO MINCHÓN**
**AF. D. JOSÉ COSTAL CAMIÑA**
**AF. D. JOSEP VICENT ACEDO ARROYO**

**Promoción XVII de la Escala Técnica de Oficiales**

**GM1 D. JOSÉ LUIS SIERRA VIDUEIRA**
**GM1 D. GUILLERMO QUINTANA GARCÍA**
**GM1 D. ALEJANDRO NOVO MARTÍNEZ**

**Entrega del diploma al número uno de la promoción XXIII de la Escala de Oficiales**

**AF. D. ALVARO GARCÍA SILVA**

**Entrega del diploma al número uno de la promoción XVII de la Escala Técnica de Oficiales**

**GM1 D. JOSÉ LUIS SIERRA VIDUEIRA**

**Invitados al acto de clausura**

**El Almirante Director de Enseñanza Naval, D. Marcial Gamboa Pérez-Pardo, el Comandante-Director de la ETSIAN D. Pedro Ramón Saura Iniesta, profesores y alumnos**

# INGENIEROS EN LA HISTORIA

## JOSÉ ROMERO FERNÁNDEZ DE LANDA

**Alejandro DeCinci**

Conocido como Romero Landa fue el segundo Ingeniero General de Marina tras Francisco Gautier, creador del Cuerpo en 1770. Su carrera se inició como Alférez de Fragata en 1575 y finalizó como Teniente General en 1795.

Navegó en una docena de navíos y participó en la Escuadra que, al mando del *Marqués de la Victoria*, trajo a España desde Nápoles a Carlos III. El 7 de octubre de 1765 fue trasladado al arsenal de Guarnizo para formarse en la construcción naval bajo la dirección del Ingeniero-constructor François Gautier.

Su interés por la ingeniería naval, transmitido por Jorge Juan, se incrementó con el contacto de Gautier, quien a sus amplios conocimientos matemáticos e hidrodinámicos unía los de constructor naval práctico. A partir de entonces su futuro profesional quedó ligado a Gautier, el sistema de construcción que la Armada estaba implantando, y que él mejoró posteriormente, y sobre todo al futuro Cuerpo de Ingenieros. Su ingreso en el Cuerpo se produjo el 17 de enero de 1771 como Ingeniero en 2° y Capitán de Fragata, lo que le acredita como el segundo Ingeniero Naval de España de todas las épocas.

Colaboró en la redacción e implantación de la Ordenanza de Arsenales de 1772 y fue Comandante del cuerpo en Cartagena y en Ferrol donde dirigió las grandes construcciones de la época.

En 1784 publicó su *Reglamento de las maderas necesarias para la fábrica de bajeles del Rey* y, seguidamente, fue nombrado Ingeniero General Interino siéndolo en propiedad en 1786.
Es de resaltar su experiencia en asuntos organizativos, personales, laborales y disciplinarios en los complejos industriales en que se habían convertido los arsenales en el siglo XVIII. Reguló los conocimientos que se debían justificar para ingresar en el Cuerpo, y los cursos de formación y diseño de buques que habían de ser realizados para conseguir los correspondientes ascensos.

Perfeccionó el sistema de construcción y diseñó algunos de los mejores buques de la Armada Real que gozaban de batería, aguante, vela, gobierno y navegabilidad, entre los que se encontraban series de navíos tales como *"El Santa Ana", "San Idelfonso", Fragatas "Soledad"*, etc.

Su actividad desde 1787 hizo que se consolidara el Cuerpo de Ingenieros realizando un sinfín de actividades como diseño de nuevos buques, inspección de los Departamentos, colaboración en la nueva redacción de las Ordenanzas de Montes, reducción de la sublevación de la maestranza de Ferrol, etc.; hasta 1790 en que se difuminó su papel como Ingeniero General quedando, solamente, para temas organizativos y pasando la responsabilidad técnica al Capitán de Fragata Julián Retamosa que dirigiría el Cuerpo a partir de la Guerra de la Independencia. Esto no fue obstáculo para que Romero Landa mejorase el diseño de los buques-correos hasta convertirlos en 1802 en bergantines rápidos.

Gautier creó el Cuerpo de Ingenieros de Marina, pero el que lo consolidó, le dio la estructura, reguló su ingreso y enseñanza fue, sin duda alguna, Romero Landa por cuyas cualidades aparece en su retrato con la Cruz de la Orden de Santiago, de la que estaba francamente orgulloso y cuya merced profesaba desde 1763.