BOLETÍN TÉCNICO DE INGENIERÍA

Diciembre 2013

Número 5

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE ARMAS NAVALES

(ETSIAN-JEPER-DIENA)

A NUESTROS COLABORADORES

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

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

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

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

Se citará la bibliografía consultada.

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

ÍNDICE

EDITORIAL Pág. 1

VIEJA FOTO Pág. 2

CAMBIOS DE RÉGIMEN DEL SUBMARINO S80 Pág. 3
CN Gerardo Matres Manso

OPTIMIZACIÓN DE UN CAÑÓN NAVAL Y DE LA CARGA PROPULSANTE ASOCIADO A SU MUNICIÓN (I) Pág. 13
CN DR. Pedro R. Saura Iniesta

UNAS IDEAS MUY BÁSICAS SOBRE LAS ACTUALES ESTRATEGIAS DEL MANTENIMIENTO EN LA ARMADA ESPAÑOLA Pág. 19
CF Agustín González Morales

VIAJE ALUCINANTE POR UN MOTOR DIESEL Pág. 23
CF Indalecio Seijo Jordán

EXIGENCIAS ESPECIALES PARA EL AMARRE EN BUQUES Pág. 26
TN Raúl Villa Caro

SIMULACIÓN DEL MOVIMIENTO DE BALANCE DEL BUQUE Pág. 31
TN Juan Manuel de Santiago Collada

JORNADAS TÉCNICAS: ACÚSTICA SUBMARINA Pág. 47

JORNADA ANUAL DE CONVIVENCIA Y CONFRATERNIZACIÓN DEL CIA EN LA ETSIAN Pág.50

INGENIEROS EN LA HISTORIA Pág. 53

Con los mejores deseos de paz felicidad para estas fiestas de Navidad, y prosperidad para todos en el próximo año 2.014

El Comandante-Director

-Pedro R. Saura Iniesta-

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales
Armada Española-JEPER-DIENA

EDITORIAL

El Capitán de Navío Ingeniero
Comandante-Director
de la ETSIAN

Respetados compañeros.

Una vez más me dirijo a vosotros para presentaros este nuevo Boletín que con tanto cariño editamos gracias a vuestras interesantes colaboraciones y al esfuerzo ímprobo de Doña Aderita Sancho Arranz, bibliotecaria de la ETSIAN *y de Doña María José Pizarro García, secretaria de la Subdirección y, cómo no, enviaros alguna reflexión y felicitaros por la Navidad que se aproxima.*

Acabamos un año duro y largo. No ha sido el mejor desde luego, pero lo hemos superado, no nos hemos rendido y comenzaremos el 2.014 con las ilusiones renovadas. Nuevos oficiales se incorporarán al Cuerpo de Ingenieros, otros van escalando peldaños y asumiendo nuevas responsabilidades... savia joven, tan necesaria y tan necesitada de estímulo y cooperación.

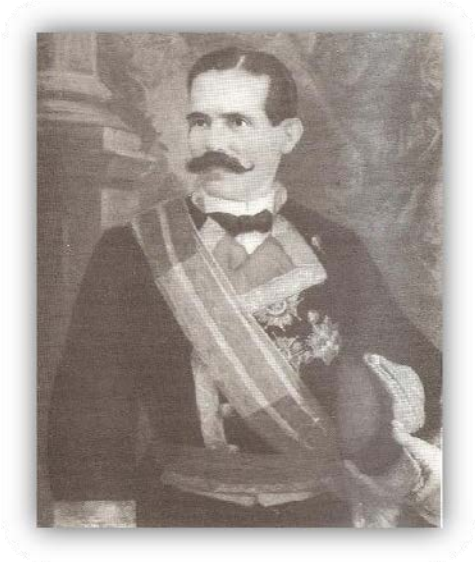
Esta ETSIAN *que es la Casa Madre de todos también intenta actualizarse: hemos renovado otra aula modernizándola en su infraestructura y medios informáticos; recibiremos en fechas próximas tres pizarras electrónicas (*INTERNET, WIFI, *etc); también hemos adquirido nueva instrumentación para el laboratorio de química, cromatógrafo de líquidos incluido, para adaptarnos a las normas* OTAN *vigentes. Como algunos sabéis lo mismo hicimos, hace poco, con el de Acústica Submarina, etc., etc. y ni qué decir que seguiremos con los Seminarios y Jornadas Técnicas, de las que llevamos cuatro desde mayo de 2.012 y tenemos previstos tres más con nuevos contenidos para 2.014.*

Para terminar, como dije al principio, aprovecho la ocasión para desearos a todos unas felices Navidades y mucha suerte en 2.014.

Un fuerte abrazo de vuestro compañero.

Pedro Ramón Saura Iniesta.

Víeja foto



Excmo. Sr. D. José Rivera y Truells

Mariscal de Campo de Estado Mayor de Artillería de la Armada

De su expediente personal, se deduce que en el año 1842 era cabo de la cuarta compañía en el tercer Batallón de Artillería del Ejército, y que en dicho año embarcó en Cádiz en la Fragata Mercante "ROSA" con rumbo a La Habana.

En febrero de 1858, con el grado de Teniente Coronel, figura destinado en la Fábrica de Trubia y ese mismo mes solicita su ingreso definitivo en el Cuerpo de Estado Mayor de Artillería de la Armada.

En Febrero de 1871 asciende a Mariscal de Campo y el 1 de Marzo es nombrado presidente de la Junta especial de Artillería de la Armada.

En septiembre de 1878 se crea la Junta Central de Defensas Submarinas y se le nombre Presidente de la misma.

Cambios de régimen del submarino S80

CN Ingeniero de Armas navales
Gerardo Matres Manso

Introducción

La batería del nuevo S-80 en inmersión deberá proporcionar energía eléctrica tanto al MEP[1] como a los equipos auxiliares. El consumo del motor será parte esencial del suministro y se prevé que alcance valores entorno al 95% del total en condición de Avante 8. Cuando el submarino cambie de un régimen determinado de velocidad a otro superior, aumentará la potencia demandada a la batería, la tensión por elemento disminuirá y el tiempo disponible para alcanzar la descarga completa se verá reducido. Si la transición se efectúa a un régimen de menor velocidad, los efectos serán los opuestos.

El objeto de este artículo es describir el comportamiento de la batería frente a las variaciones de velocidad del submarino, para lo cual se calcularan sus curvas de cambio régimen ajustadas a distintas condiciones de navegación. Es posible que algunos de los datos empleados como referencia puedan variar durante la construcción del buque.

En modo descarga, la tensión de la batería es una compleja combinación de su historial de uso previo, de la corriente que suministre en ese momento, de su energía remanente y de la temperatura. Es necesario tener en cuenta que los resultados que se obtengan serán solo estimaciones, muchas de ellas efectuadas mediante interpolaciones.

Batería del S-80

Es del tipo plomo-acido, compuesta de 360 elementos dispuestos en dos baterías parciales de 180, que pueden trabajar en configuración paralelo o serie dependiendo de la velocidad del submarino. Sus prestaciones según la especificación de contrato se resumen en la siguiente tabla:

w/el	wh	Tdes (h)	$v/el_{100\%}$	T ºC
300	35.300	117,67	1,75	25
500	30.700	61,4	1,75	25
1.000	29.000	29	1,75	25
2.600	26.300	10,12	1,75	29±2
8.700	20.500	2,36	1,55	40±4
9.600	≥19200	≥2	1,52	40±4

Tabla 1: Especificación contractual de la batería S-80

El manual de la referencia a) incluye las curvas de descarga de la batería sometida a los regímenes de potencias contractuales:

[1] Motor Eléctrico Principal

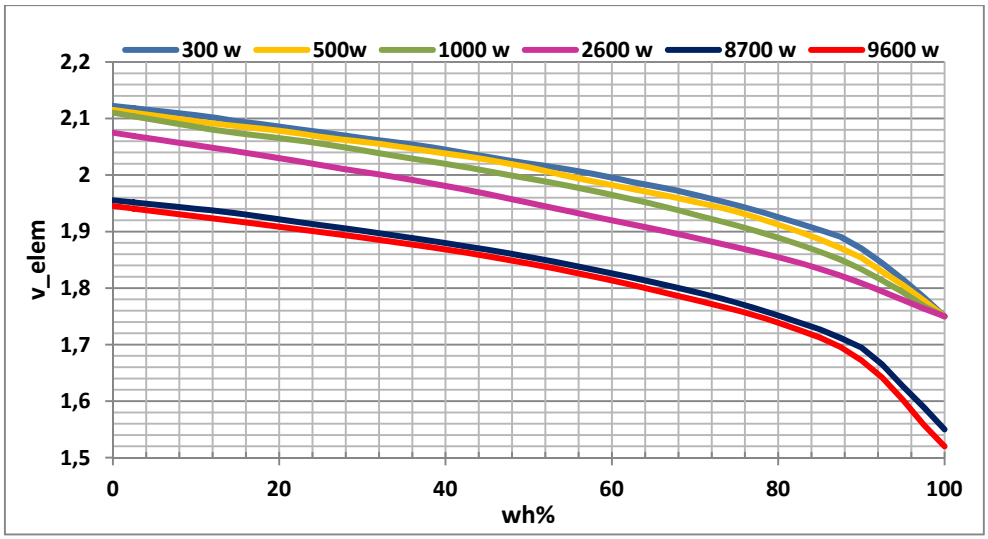


Gráfico 1: Tensión por elemento en función de la energía descargada

Los datos de estas curvas permiten deducir valores adicionales relacionados con las descargas, los cuales se incluyen en la siguiente tabla:

w/el	wh	Tdes (h)	I med	I 10%	I 100%	Ah	v/el med	v/el10%	v/el100%	T ºC
300	35.300	117,667	150,1	142,5	171,4	17.666	1,9982	2,1058	1,75	25
500	30.700	61,4	251,5	238,6	285,7	15.444	1,9879	2,0900	1,75	25
1.000	29.000	29	507,3	479,6	571,4	14.711	1,9713	2,0852	1,75	25
2.600	26.300	10,115	1.342,6	1.266,7	1.485,7	13.581	1,9365	2,0526	1,75	29
8.700	20.500	2,356	4.762,0	4.483,9	5.612,9	11.221	1,8270	1,9403	1,55	40
9.600	19.200	2	5.297,2	4.982,2	6.315,8	10.594	1,8123	1,9269	1,52	40

Tabla 2: Prestaciones de la batería del submarino S-80

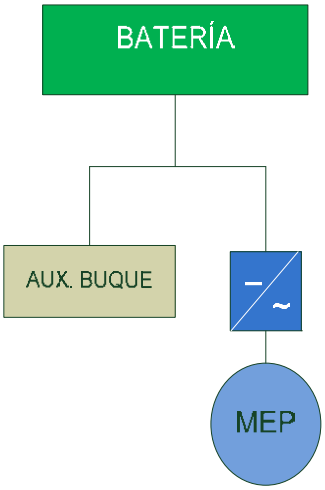
Las potencias de descarga que contempla la especificación de contrato, utilizadas como referencia en las curvas del manual del fabricante, en general no coincidirán con las que imponga el submarino de acuerdo a su velocidad y consumo de auxiliares. Para poder evaluar los cambios de régimen es necesario estimar las prestaciones de la batería y sus curvas de descarga en distintas condiciones de navegación.

Regímenes de descarga de la batería

El balance de potencias en inmersión, despreciando las pérdidas en el cableado, es:

$$Pot_Bat_Kw = Pot_MEP_cc_Kw + Pot_Aux_Kw$$

La potencia por elemento de batería se calcula: $w/el = 1.000 \cdot \frac{Pot_Bat_Kw}{360}$



El MEP, del tipo síncrono de imanes permanentes, se acciona a través de grupos convertidores que transforman la corriente continua de la batería en alterna trifásica de tensión y frecuencia variables.

Los auxiliares del buque son de alterna y también se alimentan de la batería a través de convertidores.

Potencia demandada por el MEP

Del resultado de las pruebas efectuadas al motor, incluidas en la referencia b), mediante interpolaciones, se estima su consumo en corriente continua a distintas velocidades en condición de inmersión.

Su resumen es:

v_nudos	RPM	Pcc_Inmersion Kw
3	24,75	25,9
4	32,8	56,2
5	40,85	95,2
6	48,9	152,7
7	56,6	237,9
8	64,3	319,9
9	72,15	471,5
10	80	599,6
11	87,7	814,2
12	95,4	1.006,1
13	103,1	1.282,9
14	110,8	1.567,5
15	118,4	1.894,0
16	126	2.283,7
17	133,5	2.662,7
18	141	3.206,0
19	150	3.762,5

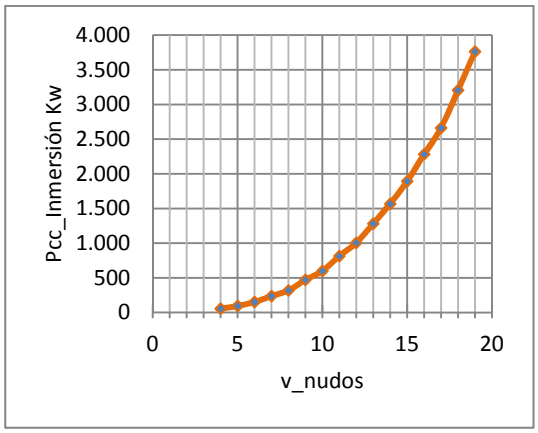


Tabla 3: Consumo eléctrico del MEP en inmersión

Consumo de los equipos auxiliares del submarino

Según el balance eléctrico de la referencia c), el consumo de los auxiliares del buque en inmersión en distintas condiciones de navegación es:

	ECONOMIA ESTRICTA (2-4 NUDOS)	PATRULLA (4-6 NUDOS)	TRANSITO (7-12 NUDOS)	ATAQUE (13-18 NUDOS)	VELOCIDAD MAXIMA
SEGURIDAD INMERSION	25,81	26,84	26,84	26,84	26,84
INSTALACIONES CASCO	12,63	70,21	67,66	56,79	53,46
ENERGIA PROPULSION	3,37	10,35	11,48	24,26	25,45
CA 115 V 60 HZ	24,11	46,14	44,15	54,53	43,44
CA 220 V 50 HZ	0,00	0,70	1,40	1,40	1,40
115 V 400 HZ	0,00	2,88	2,60	4,15	2,44
TOTAL AUXILIARES	**65,92**	**157,12**	**154,13**	**167,97**	**153,03**
TOTAL AUXILIARES MARGEN DE FUTURO 10%	**72,51**	**172,83**	**169,54**	**184,77**	**168,33**

Tabla 4: Consumo eléctrico en Kw de los auxiliares del buque en inmersión

En los cálculos se tendrá en cuenta el consumo de auxiliares incluyendo el margen de crecimiento futuro del 10%.

Prestaciones de la batería en regímenes operativos

Teniendo en cuenta en el balance de potencias los consumos del MEP y de los auxiliares, se calculan los regímenes de descarga de la batería (w/el) a distintas velocidades del buque, y mediante interpolaciones con los datos de la Tabla 2, se estiman sus prestaciones correspondientes:

CONDICION DEL BUQUE	RPM	V nudos	Pot_MEP_cc Kw	Paux Kw	Pot _Bat Kw	w/el	Tdes (horas)	v/el_{med}	I_{med}	Ah	wh
	24,8	3	25,9	72,5	98,4	**273,3**	131,71	1,9995	137	18.005	36.001
AV1_EC_ ESTRICTA	32,8	4	56,2	72,5	128,7	**357,5**	93,35	1,9952	179	16.727	33.374
	40,9	5	95,2	172,83	268,1	**744,6**	39,78	1,9798	376	14.960	29.618
AV 2	48,9	6	152,7	172,83	325,5	**904,3**	32,28	1,9745	458	14.784	29.190
	56,6	7	237,9	169,54	407,5	**1.131,8**	25,36	1,9684	575	14.582	28.703
AV 3	64,3	8	319,9	169,54	489,4	**1.359,6**	20,77	1,9635	692	14.382	28.239
	72,2	9	471,5	169,54	641,1	**1.780,8**	15,42	1,9543	911	14.053	27.463

AV 4	80	10	599,6	169,54	769,1	**2.136,5**	12,6	1,9466	1.098	13.825	26.911
	87,7	11	814,2	169,54	983,7	**2.732,6**	9,56	1,9341	1.413	13.513	26.136
AV 5	95,4	12	1.006,10	169,54	1.175,6	**3.265,7**	7,84	1,9245	1.697	13.300	25.596
	103,1	13	1.282,90	184,77	1.467,7	**4.077,0**	6,08	1,91	2.135	12.974	24.780
AV 6	110,8	14	1.567,50	184,77	1.752,3	**4.867,4**	4,94	1,8958	2.568	12.672	24.024
	118,4	15	1.894,00	184,77	2.078,7	**5.774,3**	4,02	1,8795	3.072	12.338	23.189
AV 7	126	16	2.283,70	184,77	2.468,5	**6.856,9**	3,23	1,8601	3.686	11.909	22.152
	133,5	17	2.662,70	184,77	2.847,5	**7.909,7**	2,68	1,8412	4.296	11.523	21.215
	141	18	3.206,00	184,77	3.390,7	**9.418,7**	2,07	1,8152	5.189	10.735	19.487
AV 8 EMERG	150	19	3.762,50	168,33	3.930,8	**10.919,0**	1,58	1,7908	6.097	9.612	17.213

Tabla 5: Prestaciones de la batería S-80 en inmersión según distintas velocidades del buque

Tomando como referencia los regímenes de potencia (w/el) de la tabla anterior, mediante interpolaciones con los datos del Gráfico 1, se obtienen las curvas de descarga referidas a distintas condiciones de navegación del submarino:

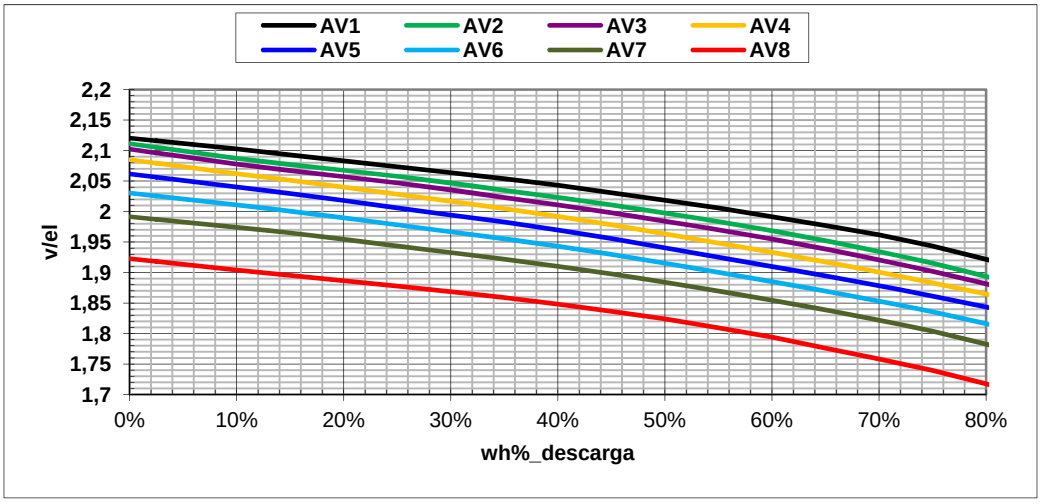


Gráfico 2: Tensión por elemento en función de la energía descargada en distintos regímenes operativos

Estas curvas se representan hasta alcanzar valores de descargas de energía del 80%, nivel máximo permitido según los requisitos operativos del buque.

Curvas de cambio de régimen

La integran tres familias de curvas, que se referencian en función de tiempo de descarga en horas representado en escala logarítmica, y de la tensión por elemento en voltios.

- **Familia de curvas de color negro**, corresponden a las descargas de la batería en distintas condiciones de navegación (AV1,AV2,etc).
- **Familia de curvas de color rojo**, representan distintos niveles constantes de energía descargada, cubriendo hasta el máximo permitido del 80%. (WH 2,5%, WH 5%, etc).
- **Familia de curvas de color verde,** las que permiten estimar los cambios de régimen (CR1,CR2,etc).

Las dos últimas se pueden deducir mediante interpolaciones de los datos del Gráfico 2 y de la Tabla 5.

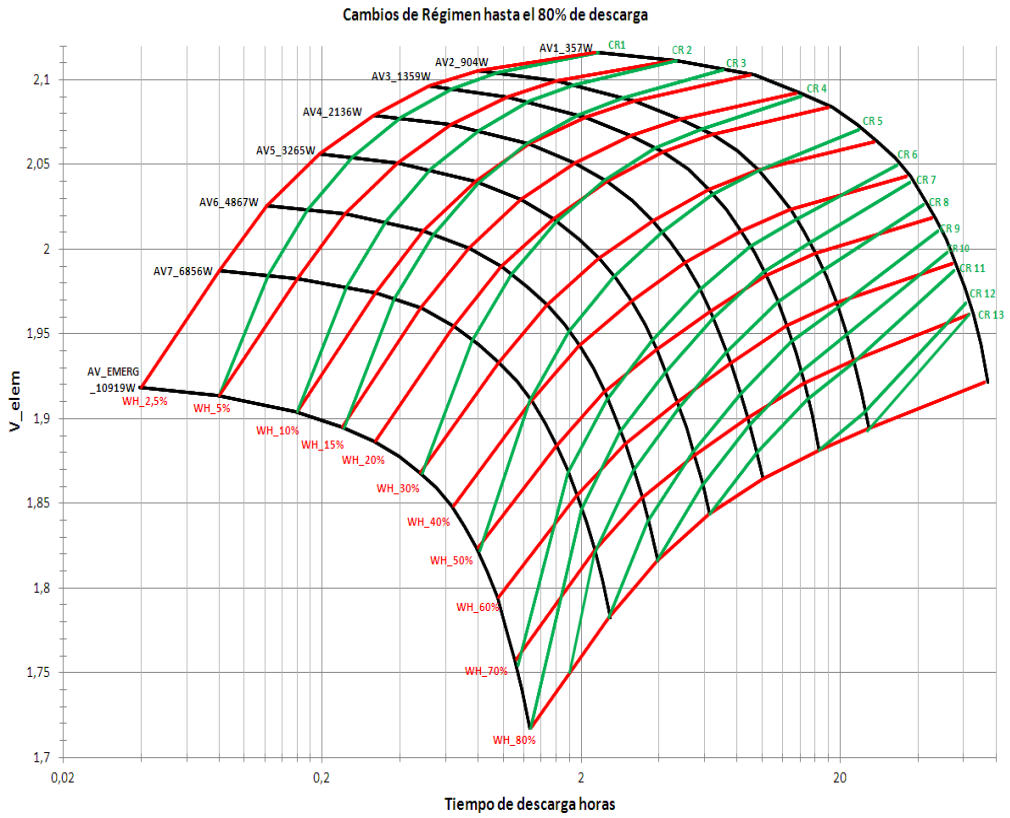
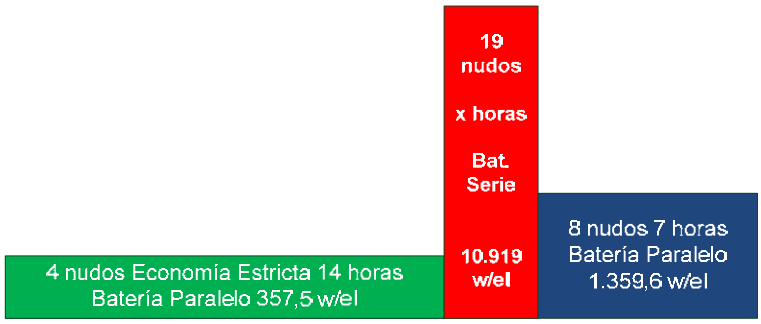


Gráfico 2: Curvas de cambio de régimen de las baterías del submarino S-80

Ejemplo de cambios de régimen

Supongamos que el submarino **con la batería al 95% de carga**, sin merma de capacidad por años de uso, inicia una misión en condición de **economía estricta a 4 nudos durante 14 horas**, efectúa **maniobra de ataque a 19 nudos** y regresa a puerto **en tránsito** a **8 nudos durante 7 horas**. Se pretende estimar el tiempo disponible para efectuar la maniobra de ataque, teniendo en cuenta que, al finalizar la misión, la descarga de energía de la batería sea del 80%.

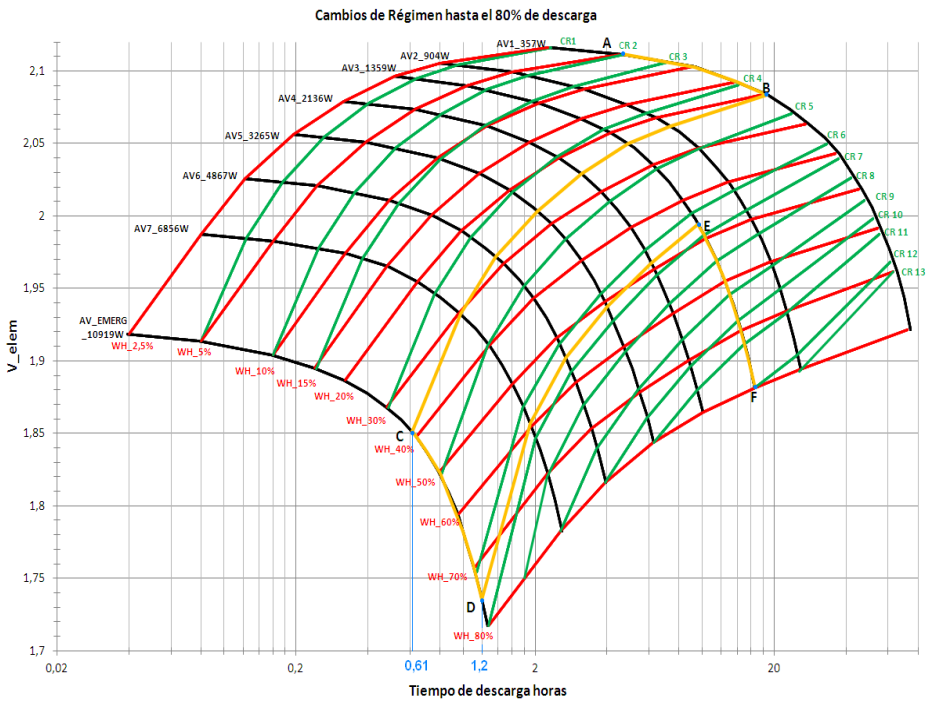
De forma esquemática, el perfil de potencias durante la navegación, de acuerdo con la Tabla 5 es:



Para encontrar la solución mediante el empleo las curvas de cambio de régimen:

- Partiendo del punto A, correspondiente a AV1 a 4 nudos en economía estricta con descarga del 5%, la navegación de 14 horas nos lleva al punto B. Según las curvas de nivel de energía constante, la descarga en este punto es del 20%.
- Desde el punto B, se traza la curva de cambio de régimen, paralela a CR4 y CR5, hasta el punto C situado en la curva de AV_EMERG a 19 nudos. Al cambiar a un régimen de mayor potencia, el nivel de descarga de energía aumenta hasta un valor cercano al 39%.
- Del punto F, en régimen de AV3 a 8 nudos con descarga del 80%, se restan 7 horas sobre la propia curva hasta alcanzar el punto E, que de acuerdo al gráfico, presenta una descarga de energía entorno al 46%.
- Desde este último punto, mediante la curva de cambio de régimen paralela a CR6 y CR7, se determina el punto D sobre la curva de AV_EMER a 19 nudos. Según el gráfico, la descarga en este punto es próxima al 76%.

Los pasos anteriores se representan con trazos en amarillo:



Los datos de cada uno de los puntos correspondientes a la misión se resumen en la siguiente tabla:

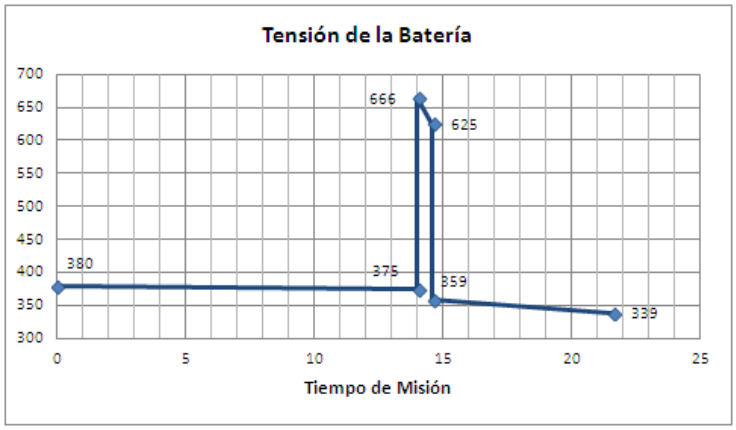
	w/el	Vel_Nudos	T_des	v/el	I_el	I_batería	V_batería	T_Misión	Descarga en %
punto A	357,5	4	4,67	2,112	169	339	380	0	5
punto B	357,5	4	18,67	2,084	172	343	375	14	20
punto C	10.919	19	0,61	1,852	5.899	5.899	666	14	39
punto D	10.919	19	1,2	1,735	6.292	6.292	625	14,59	76
punto E	1.359,6	8	9,62	1,994	682	1.363	359	14,59	46
punto F	1.359,6	8	16,62	1,882	723	1.445	339	21,59	80

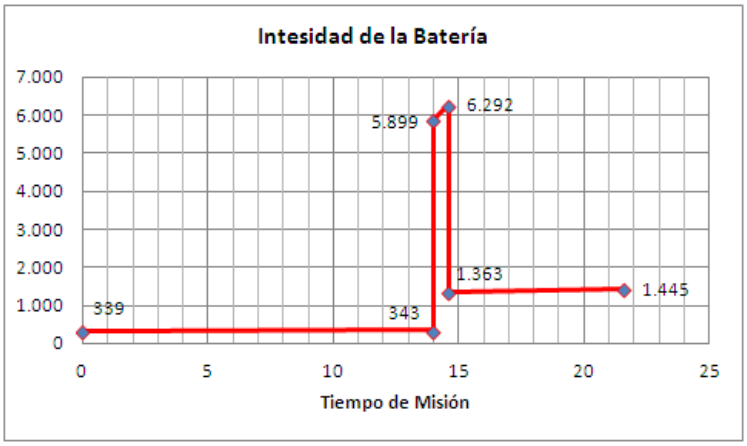
El tiempo disponible para efectuar la maniobra de ataque es:

$$T_D - T_C = 1,2 - 0,61 = 0,59 \text{ horas; } 35,4 \text{ min.}$$

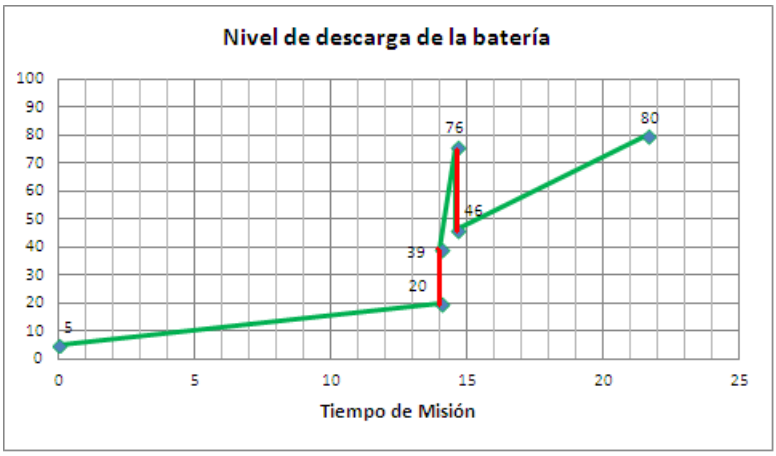
El tiempo total de navegación: 21,59 horas.

Las variaciones en la tensión y corriente de la batería durante la navegación:





La evolución la descarga de energía de la batería, con los cambios de régimen representados en rojo, es:



Estimación según la DDS 313.1

El procedimiento de aproximación por energía consumida propuesto en el documento de la referencia d), aplicado al ejemplo anterior, se resume del siguiente modo:

- En primer lugar se determina la capacidad de descarga de energía correspondiente al último período. (Si se trata de una batería con capacidad reducida por años de funcionamiento, se corrige con el factor correspondiente).
- A este valor se resta la descarga previa y la energía consumida en el primer y tercer período.
- El valor de energía disponible se divide por la potencia del periodo indeterminado y se obtiene el tiempo de descarga en dicho período.

Las prestaciones de la batería en los tres regímenes de navegación, según la Tabla 5, son:

- Economía Estricta 4n: 357,5 w/el, 33.373,6 wh, Tdes = 93,35 h
- Ataque a 19 nudos:10.919 w/el, 17.212,8 wh, Tdes = 1,58 h
- Tránsito 8 nudos: 1.359,6 w/el, 28.239,2 wh, Tdes = 20,77 h

Según el procedimiento descrito, la energía disponible para efectuar la maniobra de ataque es:

$$wh_{disp} = 0{,}8 \cdot 28.239{,}2 - \frac{5}{100} \cdot 33.373{,}8 - \frac{14}{93{,}35} \cdot 33.373{,}8 - \frac{7}{20{,}77} \cdot 28.239{,}2 = 6.400{,}2$$

El tiempo para llevarla a cabo: $x = \frac{6.400,2}{10.919} = 0,58\ h = 35,2 \min$

El resultado es análogo al obtenido mediante las curvas, pero el método no aporta directamente valores de tensión y corriente.

Conclusión

Las curvas de cambio de régimen permiten calcular de forma aproximada las variaciones en la tensión, corriente y tiempo disponible de descarga de la batería producidas por los cambios de velocidad del submarino.

Se pueden utilizar, ajustando los regímenes de descarga, para estimar dichas variaciones en inmersiones con pérdida de una batería parcial y también en navegaciones en modo AIP[2] para el rango de velocidades en el que la pila de combustible y la batería trabajen ambas aportando energía a la planta eléctrica.

[2] Air Independent Propulsion

REFERENCIAS

a) Manual técnico de la batería del S-80 de Exide -Tudor, de Octubre de 2010.
b) Informe de Gamesa sobre las pruebas del MEP serie1, de Abril de 2009.
c) Balance eléctrico del submarino S-80 Rev E de Navantia, de Diciembre de 2011.
d) Data Design Sheet 313-1 “Submarine battery endurance calculations”.

Optimización de un cañón naval y de la carga propulsante asociada a su munición (I)

CN Doctor por la ETSIAN
Pedro R. Saura Iniesta
Comandante-Director de la ETSIAN

1.- Introducción.

En todo cañón las prestaciones están determinadas por un conjunto de factores constantes y variables. Los factores constantes están definidos por la propia estructura del cañón, es decir por sus características físicas. Los factores variables provienen esencialmente de la munición, peso del proyectil y propulsante. Hay que decir que los factores constantes y variables no son, lógicamente, completamente independientes unos de otros.

El funcionamiento de cualquier cañón está condicionado por la presión máxima que es capaz de soportar. Este máximo se fija en el momento del diseño, sobre plano, y posteriormente se confirma mediante simulaciones y pruebas de fuego reales llevadas a cabo en polígono. Para esto es fundamental la elección de una carga de pólvora adecuada: peso, composición química, y geometría de grano óptima. Asimismo la elección de una pólvora adecuada permitirá alcanzar la velocidad deseable sin sobrepasar el máximo de presión prefijado.

Cuando el sistema de arma ya existe, la modificación de las características físico-químicas de la carga propulsante es el medio más cómodo de influir en las prestaciones del sistema sin tener que realizar un proceso de redefinición del arma que resultará caro, complejo, de resultado poco predecible y con grandes posibilidades de no responder a las expectativas generadas.

No obstante, obtener una velocidad en boca determinada calculando la geometría más adecuada del grano propulsante es un problema complejo debido a la interdependencia de los diferentes fenómenos balísticos y su influencia en el resultado final. Es necesario, pues, controlar la influencia que ejercerán en la presión y velocidad en boca las dimensiones del grano.

Hemos dicho antes que cuando se trata de establecer las prestaciones que tiene o debería tener un cañón real o hipotético, no es posible referirse exclusivamente al cañón en sí, sino que es necesario considerar como un todo interactivo al conjunto constituido por el propio cañón, la carga de pólvora y el proyectil. Sería absurdo considerar a estos tres subconjuntos como si de sistemas cerrados se tratara, esto es, como si no sufrieran ninguna influencia ni de los otros dos ni del exterior.

Cuando se trata de diseñar un cañón, antes incluso de afrontar las dificultades derivadas de la integración del sistema de arma, conviene definir con exactitud las solicitaciones que se le exigirán al arma, sus prestaciones y, por supuesto, qué tipo de propulsante será el adecuado.

Aquí me centraré básicamente en el estudio de la geometría del grano y su influencia en el rendimiento del cañón, sin despreciar otras consideraciones de interés que queden de manifiesto en el transcurso de estos artículos.

La influencia relativa de los parámetros con capacidad de interaccionar entre sí y con el sistema en su conjunto caracterizará de forma inequívoca al cañón objeto de estudio. Al considerar cuál podría ser el tipo de propulsante adecuado podría suceder que para conseguir una mayor efectividad en el disparo sea necesaria la utilización de cargas heterogéneas, esto es cargas que están constituidas por distintas geometrías y/o composiciones químicas. Esto aumenta enormemente la complejidad en el tratamiento matemático del problema y en la comprensión del fenómeno.

A la hora de diseñar un cañón, de cualquier clase, es preciso contar con una potente herramienta de cálculo capaz de relacionar y considerar la mayor cantidad posible de parámetros que afecten al arma en cuestión realizando un tratamiento matemático potente, rápido y, sobre todo, fiable. El modelo elegido de concepción del cañón lleva implícito un modelo de Balística Interior lo más avanzado posible que permita calcular, relacionar, parametrizar y analizar todos los factores que influyen en el proceso del disparo y las

interacciones que se establezcan entre ellos de forma que se puedan identificar los más accesibles para influir sobre ellos y modificar el arma.

Realmente para mejorar las prestaciones de un cañón en fase de diseño o incluso en servicio sólo tenemos dos opciones que no impliquen una modificación de la propia estructura del arma:

1º.- Aumentar la velocidad en boca modificando las características del propulsante.
2º.- Aumentar la velocidad en boca modificando el proyectil.

El primer caso es, a priori, el más rentable económicamente caso de ser factible. No hay que modificar el cañón por lo que la incidencia en la estructura del buque será nula. Tampoco será preciso afrontar los gastos y el tiempo necesarios en el desarrollo de un nuevo proyectil con todos los inconvenientes asociados a esta opción, incluida la incertidumbre del resultado.

Evidentemente lo más rentable y cómodo sería una modificación de la carga propulsante que, manteniéndonos dentro de los límites de seguridad del cañón, nos permitiera conseguir un aumento en la velocidad en boca que justificase la inversión en medios humanos y materiales que tal acción exigiría.

2.- Planteamiento del problema.

La modificación de la carga propulsante se puede llevar a cabo de varias formas:

1º.- Manteniendo la misma composición química:

- Aumentando el peso de la carga.
- Modificando la geometría del grano.
- Modificando las dimensiones del grano.
- Mezcla de granos con distintas geometrías y/o dimensiones.

2º.- Modificando la composición química:

Un propulsante de mayor fuerza que el originalmente utilizado aumentará sin duda la velocidad en boca pero implicará un posible aumento en las presiones de recámara y tubo así como un incremento en la erosión del ánima por efectos mecánicos y térmicos. Al aumentar la fuerza de una pólvora cabe esperar un aumento en su temperatura de llama lo que afectara al material constituyente del cañón acelerando su deterioro.

El rendimiento piezométrico se obtiene dividiendo la presión media generada por la combustión del propulsante por el valor máximo de la presión, entendiendo por presión media aquella que si se aplicara sobre el culote del proyectil, a lo largo de todo el recorrido de este, hasta el plano de boca, comunicaría al proyectil la misma velocidad de salida.

El rendimiento balístico, R_b, puede definirse como la relación entre la energía proporcionada al proyectil y la de la carga propulsante. Este será mayor si la carga propulsante efectúa su completa combustión lo más rápidamente posible a partir del momento en que se inicia el movimiento del proyectil en el tubo. Este rendimiento se calcula de dos formas. La primera es a partir de determinadas fórmulas semiempíricas como la siguiente:

$$R_b = \frac{0{,}5 \cdot P_p \cdot V_b^2 \cdot (\gamma - 1)}{w \cdot f \cdot M_p}$$

siendo:

R_b = Rendimiento balístico.
P_p = Peso del proyectil.
V_b = Velocidad del proyectil en boca.
γ = Relación de calores específicos.
w = Velocidad específica de combustión del propulsante.
f = Fuerza específica.
M_p = Peso del propulsante

La otra forma de calcular el rendimiento balístico es a partir de la obtención del balance energía que tiene lugar durante el ciclo del disparo. Personalmente considero que si el método de cálculo es lo suficientemente preciso esta segunda forma de obtener el rendimiento balístico es mucho más exacta que la primera. En cualquier caso es evidente que el rendimiento de un cañón depende de la presión y de la velocidad en boca del proyectil.

El hecho de que al actuar sobre el propulsante se puedan mejorar las prestaciones del cañón, tiene una serie de interesantes implicaciones de carácter técnico puesto que no es tan sencillo, en muchos casos, modificar o sustituir la pólvora nominal del arma.

Para que la sustitución sea factible y se lleve a cabo, hay que efectuar un completo y riguroso estudio de la nueva balística interior del cañón con el nuevo tipo de propulsante. La economía de medios impide, por lo menos en una primera fase, la utilización de un sistema de tanteo, ensayo-respuesta, que implicaría un gran número de pruebas de Polígono basadas más en la intuición que en el rigor científico. Por otra parte esa nueva pólvora debe de ser viable, esto es: factible desde el punto de vista económico y de fabricación, adecuada al cañón, que mejore de modo evidente sus prestaciones y que respete sus límites de seguridad.

Todo lo anterior exigirá, como primer requisito, disponer de un método de simulación balística homologado en el ámbito de la OTAN y que tenga una máxima fiabilidad. Por tanto la secuencia de acontecimientos podría ser la siguiente:

1. Necesidad de establecer o mejorar las prestaciones balísticas de un cañón.
2. Evaluación de las opciones posibles.
3. Elección de la opción que implica modificar el propulsante.
4. Puesta a punto y validación de un modelo de simulación.
5. Estudio sistemático del efecto de diferentes geometrías de grano.
6. Recopilación y ordenación de resultados.
7. Tratamiento estadístico
8. Ecuaciones que relacionen las dimensiones del grano con la P y la V_b.
9. Elección del grano idóneo.
10. Evaluación de las ventajas, si las hubiere, del cambio de grano.
11. Identificación de otras alternativas si las hubiera.

Este procedimiento, de ser válido, implicaría un elevado ahorro económico puesto que disminuirían los gastos de producción al evitarse pruebas innecesarias. También se incrementaría notablemente la seguridad al realizarse sólo las experiencias de Polígono estrictamente necesarias, y estas con la convicción de

que están basadas en multitud de simulaciones de gran fiabilidad y verificando que no se superan los límites de seguridad establecidos.

Si conseguimos obtener un algoritmo de cálculo que sea capaz de relacionar la dimensión óptima del grano con los rendimientos piezométrico y balístico, es decir, con P_{max} y V_b habremos conseguido una herramienta de trabajo que permita realizar, por una parte, una investigación teórica de la geometría y dimensiones óptimas del grano y, por otra, ahorrar tiempo, dinero y aumentar la seguridad reduciendo al mínimo las pruebas de Polígono.

El desarrollo de un procedimiento teórico, basado en los requisitos exigidos por la OTAN para este tipo de cálculos, de optimización de propulsantes que considere la práctica totalidad de los factores que puedan influir y la consiguiente obtención de una herramienta de trabajo apoyada por un exhaustivo estudio teórico que sería de gran utilidad en Polígonos de Pruebas ya que podría aplicarse tanto a cañones como a morteros e incluso con pequeñas adaptaciones a armas de pequeño y mediano calibre.

2.1- Análisis del problema.

Con el fin de planificar adecuadamente los posibles procedimientos de investigación, es necesario seguir una adecuada metodología:

1. Establecimiento del problema.
2. Elección de las posibles variables.
3. Selección de los factores que deben modificarse.
4. Elección de los niveles de estos factores.
5. Determinación de la manera en que se han de combinar los niveles de dichos factores.
6. Recogida y procesamiento de los datos.
7. Cálculos estadísticos si procede.
8. Interpretación de los resultados por el experimentador.

2.2.- Planificación.

A continuación se desarrolla un procedimiento útil en todas las fases de la investigación.

2.2.1.- Secuenciación del problema.

1. Identificación del ámbito del problema.
2. Limitaciones a considerar.
3. Definir el alcance exacto del programa de experimentación.

2.2.2.- Antecedentes.

1. Investigar todas las fuentes de información existentes.
2. Seleccionar los trabajos de interés.
3. Estructurar los datos obtenidos

2.2.3.- Metodología.

1. Enunciar las proposiciones a demostrar.
2. Determinar los hechos relevantes.
3. Posibles resultados alternativos.
4. Elegir los factores a estudiar.
5. Elegir las mediciones finales a efectuar.
6. Considerar las posibles interacciones de los factores.
7. Determinar las limitaciones de tiempo, coste y materiales.
8. Preparar un plan sistemático y completo.

9. Eliminar los efectos de las variables ajenas al estudio.
10. Minimizar el número de pruebas experimentales.
11. Elegir el método de análisis estadístico, si procede.
12. Disponer de los datos necesarios.

2.2.4.- Realización de las pruebas.

1. Planificar métodos, materiales y equipo.
2. Modificar los métodos si es necesario.
3. Anotar cualquier modificación introducida en el plan del programa.
4. Recopilación de datos.

2.2.5.- Análisis de los datos obtenidos.

1. Organizar los datos recogidos.
2. Aplicar las técnicas matemáticas adecuadas.

2.2.6.- Conclusiones.

1. Describir el trabajo con claridad, indicando los antecedentes, las implicaciones de los problemas y el significado de los resultados.
2. Utilizar métodos gráficos y tabulares para presentar los datos en un formato adecuado con miras a su utilización futura.
3. Proporcionar suficiente información para permitir al lector verificar los resultados y extraer sus propias conclusiones.
4. Limitar las conclusiones a un resumen objetivo de los resultados.

2.3.- Requisitos de la investigación.

1. Objetivos cuidadosamente definidos.
2. Procurar que los efectos de los factores no queden oscurecidos por otras variables.
3. Deberá estar, en lo posible, libre de cualquier tendencia consciente o inconsciente.
4. Deberá proporcionar una medida de la precisión, error experimental.
5. La precisión deberá ser suficiente para garantizar el logro de los objetivos previstos.

2.4.- Fiabilidad del procedimiento.

1. La definición de objetivos requiere todos los conocimientos especializados del tema, por parte del experimentador y determina:

   - La elección de factores, incluyendo su recorrido.
   - El procedimiento a seguir.
   - El equipo adecuado.

2. El empleo de un modelo experimental apropiado ayuda a identificar y estudiar los efectos de las variables no controladas, simplificando el análisis de resultados.

2.5.- Posibles líneas de investigación.

Entre los posibles sistemas que podríamos utilizar para aumentar la velocidad en boca del proyectil podríamos citar los siguientes:

1. Incrementar la longitud del tubo.
2. Disminuir el peso del proyectil.
3. Utilizar propulsantes de energía más elevada.
4. Aumentar el peso de la carga de proyección.
5. Mejorar la eficiencia de la presión.
6. Optimización de la geometría del grano.

CONTINUARÁ…….

Unas ideas básicas sobre las actuales estrategias del mantenimiento en la Armada española

Capitán de Fragata Ingeniero de Armas Navales
Agustín E. González Morales
Jefe del Ramo de Electricidad, Electrónica y Armas
del Arsenal de Cádiz

Para hablar de mantenimiento es imprescindible aclarar qué se entiende por Logística. Y creo que la definición adoptada por la Escuela de Guerra Naval española es excelente: «*La Logística es la parte del arte de la guerra que tiene por objeto proporcionar a las Fuerzas Armadas los medios de personal, material y servicios necesarios para satisfacer en cantidad, calidad, momento y lugar adecuados las exigencias de la guerra*».

Podría, bisturí en mano, empezar a diseccionar esta definición, pero estoy seguro de que lo único que conseguiría es «enrollarme» con perífrasis innecesarias que, lejos de aclarar, desvirtuarían la claridad de lo que ya la definición dice tan claramente. Y, paciente lector, permítame la redundancia que tan explícitamente acabo de emplear usando en el mismo párrafo las palabras aclarar, claridad y claramente. Porque, aclaro e insisto: está más claro que el agua clara lo que la Escuela de Guerra dice.

La Logística, el sostenimiento y la tecnología

Allá por 1945, el general Rommel aseveró: *«Los logísticos deciden quién gana la guerra y los operativos van y lo hacen»*. Aunque los teatros de operaciones actuales son muy distintos de los que había en la Segunda Guerra Mundial, la premisa de Rommel sigue siendo válida.

Hoy es muy frecuente que los escenarios estén muy alejados (Somalia, Afganistán, etc.), lo cual exige de la Logística y de su brazo ejecutor, el apoyo logístico, una gran capacidad de proyección y una cuidadosa planificación del sostenimiento. Además, no es raro tener que enviar personal y material a zonas cuyos recursos y medios de apoyo son muy escasos o incluso nulos. Por todo ello, para lograr el éxito de las misiones es imprescindible coordinar múltiples acciones que establezcan y mantengan un adecuado flujo logístico.

Pero, la Logística no sólo debe afrontar el reto de apoyar a las Fuerzas Armadas en escenarios remotos, también tiene que:

- Procurar la innovación tecnológica, impulsando a la industria de la defensa para actualizar y modernizar los sistemas/equipos, incorporando conceptos avanzados en la construcción de unidades militares y, a veces, hasta optando por sistemas/equipos en fase de I+D.
- Apoyar a la tecnología propia con materiales nacionales y diseño nacional. Los actuales retos tecnológicos a los que la Armada española se está enfrentando se pueden sintetizar simplemente citando los nombres de los nuevos buques que ya están operando o a punto de hacerlo: el *Juan Carlos I*, las fragatas F-100, el *Cantabria*, los Buques de Acción Marítima (BAM), el submarino S-80…

Buque de Acción Marítima (BAM)

Para conseguir estos propósitos la Logística tiene que estar en continua evolución, incorporando procedimientos modernos de ejecución, control y gestión; sin olvidar, por supuesto, la seguridad de los trabajadores mediante una correcta prevención de los riesgos laborales, y sin desatender al cuidado y respeto

por el medio ambiente; todo ello en un entorno presupuestario como el actual donde las necesidades tienden al infinito, frente a unos recursos económicos que, por desgracia, casi siempre son infinitesimales.

Pero la Logística no sería eficaz si su visión fuese cortoplacista. Por eso la Armada ya ha incorporado a sus sistemas el concepto de *apoyo al ciclo de vida* que influye no sólo en el diseño y la construcción, sino a lo largo de toda su vida operativa, contemplando incluso los procedimientos para darlos de baja. Se pretende con ello mantener su capacidad de combate un tiempo muy dilatado (de 30 a 40 años en el caso de algunos buques), lo que exige un permanente apoyo de ingeniería al sostenimiento para poder incorporar las nuevas tecnologías que surjan durante la continua evolución del estado del arte.

El Mantenimiento y su actual enfoque en la Armada

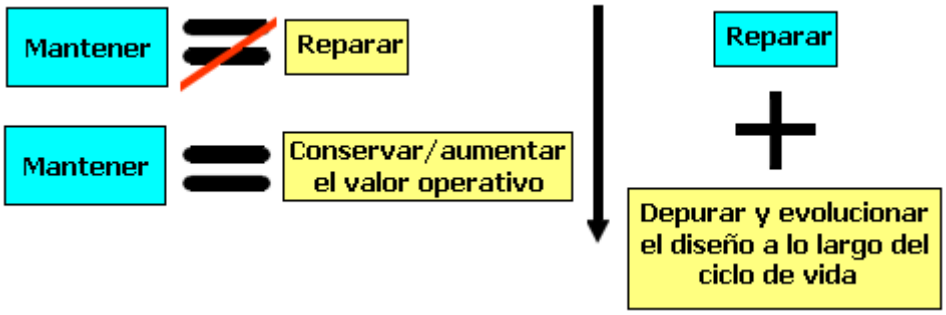
Para cumplir este objetivo la Armada española ha apostado con convicción por el mantenimiento basado en la fiabilidad o la condición, llamado «*Reliability Centered Maintenance (RCM)*» introduciendo nuevas técnicas (como comprobaciones termográficas, lecturas de vibraciones, análisis de fluidos, etc.) que permiten sopesar la necesidad o no de realizar una acción de mantenimiento. Los resultados empiezan a estar a la vista, porque ya comienza a detectarse una considerablemente reducción de la cantidad de acciones de mantenimiento ejecutadas, con el consiguiente ahorro en los costes (no sólo en dinero, sino también en materiales, horas-hombre, en almacenamiento…).

Fragata F-100

A este nuevo concepto de mantenimiento contribuye el Centro de Supervisión y Análisis de Datos de la Armada (CESADAR), ubicado en el arsenal de Cartagena, con extensiones en la Base Naval de Rota y en los arsenales de Ferrol, Cádiz y Las Palmas. Por ejemplo, el CESADAR recibe vía satélite una información muy detallada de los principales parámetros del Sistema Integrado de Control de Plataforma de las unidades, a través de sensores instalados en la planta propulsora y los equipos auxiliares. De esta manera se supervisa a distancia su funcionamiento y se previenen averías. Esta información se complementa con análisis periódicos de los combustibles, lubricantes y fluidos que permiten detectar problemas en motores y turbinas (como contaminaciones, exceso de acidez, restos metálicos, etc.).

Pero, todos estos procesos no podrían llevarse a cabo sin los adecuados sistemas informáticos de gestión. La aplicación GALIA (Gestión del Apoyo Logístico Integrado de la Armada) cumple este requisito con gran eficacia abarcando todo el sostenimiento, tanto en los aspectos técnicos como en los administrativos y económicos, gracias a que está enlazada con otras dos aplicaciones corporativas: el Sistema integrado de Gestión del Material de la Armada (SIGMA-DOS) y la aplicación contable Intendente Montojo.

Debemos tener presente que *no es lo mismo mantener que reparar*. Mantener tiene más calado, pues implica una continua depuración y evolución del diseño de un sistema, de manera que se conserve, incluso se aumente, su valor operativo a lo largo de su ciclo de vida, como se aprecia en la figura siguiente.



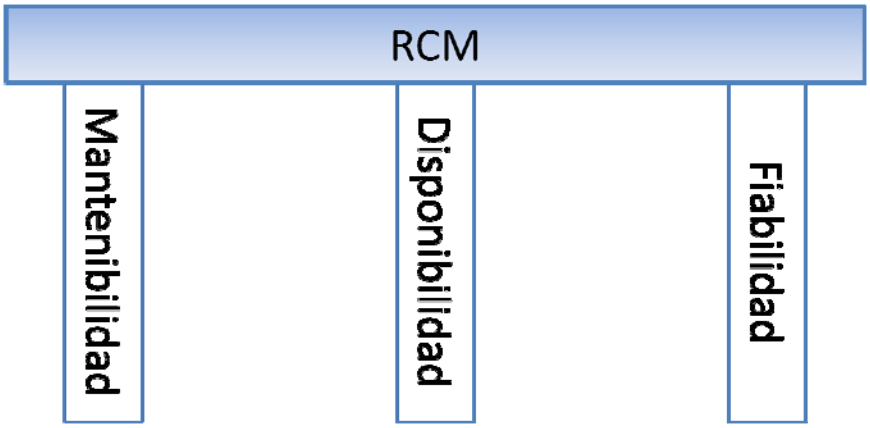
Además, los responsables del mantenimiento somos «todos», empezando por el buen uso que el utilizador haga de un sistema, continuando con las acciones que dicho utilizador debe realizar como responsable del primer escalón del mantenimiento, siguiendo con los encargados de ejecutar las acciones del segundo escalón, y terminando, si es preciso, en los arsenales y en la industria privada. Y todo ello sin perder de vista que el objetivo de cualquier tipo de mantenimiento es conservar los niveles inherentes al diseño de los sistemas en *fiabilidad, rendimiento* y *seguridad*, al *mínimo coste* y afectando lo menos posible a la *disponibilidad*. Veamos la evolución que siguió la Armada española en este aspecto.

Fue en la década de los 80, cuando decidió introducir la doctrina de mantenimiento RCM en las fragatas de la clase *Santa María*, con el objetivo de reducir los costes, minimizando el sobremantenimiento el que muchas veces se incurría aplicando los métodos preventivos y correctivos, porque hasta entonces se llevaba a cabo un mantenimiento preventivo programado, basado esencialmente en las horas de funcionamiento de cada sistema; pero, desde la implantación del RCM se empezaron a efectuar –y continúan haciéndose en la actualidad – unas inspecciones previas, en el denominado Periodo de Inspección (PI), en las que se evalúa el estado de los sistemas y la necesidad de ejecutar o no acciones de mantenimiento. El PI se suele realizar durante la fase operativa, unos meses antes de que una unidad entre en un Periodo de Inmovilización Programada (PIP). Con la información obtenida durante el PI se definen y concretan las tareas de mantenimiento que se ejecutarán en el PIP y se elaboran las TML (*Task Material List*: Listas de materiales para las tareas) de los repuestos necesarios para realizar las citadas tareas de mantenimiento.

Podemos decir que de la doctrina RCM se deriva un proceso que determina los requisitos de mantenimiento e identifica las acciones que deben llevarse a cabo para garantizar la operatividad de un sistema; evaluando, además, la efectividad de dichas acciones.

Mantenibilidad, disponibilidad y fiabilidad

El objetivo del RCM es obtener la mejor opción de mantenimiento según cada entorno operativo particular. Para ello han de estudiarse tres factores fundamentales: la *mantenibilidad*, la *disponibilidad* y la *fiabilidad*.



La *mantenibilidad* podemos definirla como el estado logístico de las capacidades, las acciones y los resultados que aseguran la disponibilidad y la fiabilidad de un sistema.

La *disponibilidad* es el proceso de gestión de los intervalos de tiempo entre fallos o averías. Mientras que la disponibilidad se puede medir a través de la capacidad operativa del sistema, la *fiabilidad* se pondera calculando el tiempo que un sistema está inoperativo.

De lo dicho se deduce que la mantenibilidad, la disponibilidad y la fiabilidad están relacionadas entre sí. En efecto, aunque se mantenga la fiabilidad en unos niveles constantes –incluso muy elevados– ello no implica obtener una mayor disponibilidad, pues si el tiempo necesario para el mantenimiento se incrementa, la disponibilidad decrece; y, por el contrario, si un sistema tiene una menor fiabilidad pero su mantenibilidad disminuye (es menor el tiempo necesario para reparar), la disponibilidad aumenta.

La Armada siempre ha poseído un sistema logístico capaz de responder al concepto clásico de *mantenibilidad*. Pero esta mantenibilidad, ¿asumía en su totalidad el ciclo de vida de los sistemas?, ¿era capaz de adaptarse e integrase según el estado de la tecnología en cada momento (el estado del arte)?, ¿procesaba el mantenimiento, lo valoraba, lo cuantificaba mediante índices e indicadores del rendimiento, fiabilidad y eficacia? En algunas áreas aisladas, sí, pero no en la totalidad y mucho menos aún de una manera integrada.

La tecnología informática permite procesar datos, compararlos, calcular índices e indicadores, tanto puntuales como globales, de tal manera que la información disponible en tiempo real, durante el funcionamiento de los sistemas, puede emplearse para que los responsables del mantenimiento tomen decisiones y elaboren un plan de mantenimiento con las acciones que se requieren en cada momento, según la disponibilidad y la fiabilidad que se espera o se necesita.

Epílogo

Este es el reto… y en conseguirlo estamos involucrados «todos», no sólo los que nos dedicamos a la Logística desde el punto de vista del sostenimiento.

Porque Rommel tenía y sigue teniendo razón.

Viaje alucinante por un motor diesel

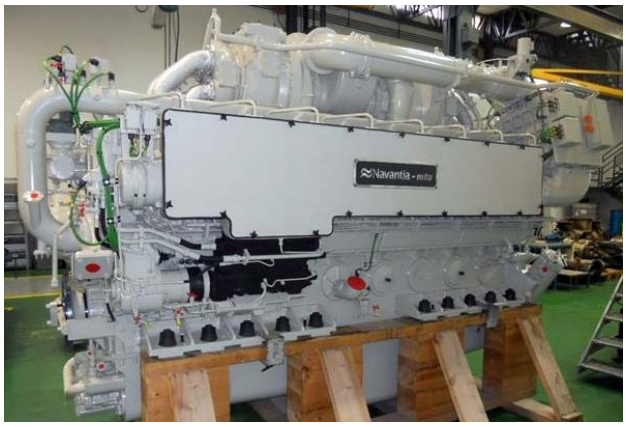
CF Ingeniero
Indalecio Seijo Jordán
Jefe Ramo Casco y Máquinas
Arsenal de Ferrol

Introducción

Avante toda, atrás media, para... ¿Cuántas veces hemos oído estas frases? Pero seguro que pocas personas a bordo piensan en esos momentos en lo que estas órdenes suponen para los motores. A pesar de que prácticamente todo el personal embarcado conoce el funcionamiento de un motor diesel, he querido con esta especie de cuento, más que explicar su mecánica, hacer un pequeño homenaje a estos incansables trabajadores, de forma que todos seamos algo más conscientes de la importancia que tiene un buen trato de los mismos.

Los preparativos

Aquella mañana nuestros cuatro amigos iban, por fin, a ver realizado uno de sus sueños. Tenían 24 horas para ello; 24 horas durante las cuales sus tamaños se reducirían al de un átomo. El plan estaba trazado, los cuatro se introducirían en las entrañas de un motor: Diesel y Otto entrarían en el circuito del combustible, Buchi lo haría por el camino del aire mientras que Stokes lo intentaría hacer a través del sistema de lubricación.



No podían fallar; habían repasado minuciosamente el plan y preparado con detalle todo el equipo: trajes, radioteléfonos, aparatos de medida, ordenadores portátiles...

Así que, muy temprano, se dirigieron al puerto. Habían elegido un veterano buque de guerra con un motor de 4 tiempos sobrealimentado y una potencia superior a los 4000 CV.

Diesel y Otto eran los más experimentados, pero la idea les producía gran excitación ya que Diesel, aunque había realizado infinidad de veces experiencias parecidas, casi siempre lo había hecho en motores de 2 tiempos extremadamente lentos, así que la previsible agitación de un motor de 1500 RPM le producía cierto sobresalto.

Otto por su parte desconocía los placeres de bucear en un diesel-oil, ya que él era un experto en gasolinas. Los dos eran viejos amigos y ambos se mantenían jóvenes de espíritu.

Buchi era el más joven de los cuatro y disfrutaba introduciéndose en violentos torbellinos de aire.

Por fin, Stokes, el más tranquilo del grupo, era un trabajador constante e incansable y le irritaban tremendamente pequeñas impurezas en el circuito de aceite que para muchos otros pasarían inadvertidas.

La entrada en el motor

A Otto le impresionó el tamaño del motor, con sus 16 cilindros en “V”. Sin embargo Diesel no dudó en calificarlo como un gran “molinillo de café”, ya que estaba acostumbrado a otras dimensiones. Ambos se introdujeron en el tanque de servicio diario de combustible a través de un atmosférico, allí flotaban muy cerca del techo en espera del arranque del motor.

Buchi echó un vistazo por las rejillas exteriores de aspiración de la turbosoplante, pudiendo observar una enorme clapeta cerrada, así que se sentó a fumar un cigarro. Sabía que su camino iba a ser mucho más rápido que el de sus compañeros.

El último en tomar posiciones fue Stokes; aprovechó que estaban efectuando la purificación del aceite para introducirse en el circuito, pasar por la centrifugadora y llegar al cárter con un gran mareo. Aunque el principio físico a que había sido sometido llevaba su nombre era difícil acostumbrarse a las 6000 RPM y a la fuerza de más de 10000 g. a que había sido sometido. Pudo comprobar que el aceite había quedado perfectamente limpio y calculó que habría allí unos 500 litros de aceite.

La puesta en marcha

Todos ellos pudieron oír con claridad como el aire de las botellas de arranque a 40 Kg/cm^2 ponía en marcha el motor.

Habían decidido esperar a que el motor llevase una hora funcionando para empezar su viaje y así poder efectuar las medidas de presión y temperatura con el motor a régimen normal.

Otto y Diesel fueron aspirados por la bomba de aportación, pasando antes por unos filtros previos donde quedaban retenidas unas partículas que para ellos tenían un tamaño enorme. Tras la bomba encontraron otros filtros más finos, los cuales estaban algo tupidos y les costó bastante trabajo atravesarlos. Diesel comentó que tenía frío, lo cual era normal pues en otros grandes motores de 2 tiempos su temperatura ya habría sido elevada a unos 100ºC, así que echó de menos un combustible del tipo IFO. La presión a la que se encontraban era de 1 Kg/cm^2.

Mientras tanto Stokes ya había dado una vuelta completa por el circuito de mecanismos y regresaba de nuevo al cárter; en su block de notas podía leerse: presión en el circuito 4,5 Kg/cm^2, temperatura en el cárter 80ºC, pequeñas ralladuras en cojinete de bancada, repasar anillos de laberinto de la turbosoplante. Decidió que el próximo recorrido lo haría por el circuito de refrigeración de pistones.

Buchi seguía esperando en la aspiración de la turbo; la temperatura del aire era de 26ºC, con una presión barométrica de 736 mm Hg y una humedad relativa del aire del 60%.

A régimen normal

Una vez superados los filtros finos el combustible es aspirado por la bomba de inyección, allí la presión empezó a aumentar casi de forma instantánea. A Diesel, que tomó el camino del cilindro más cercano a la bomba, el recorrido le recordó a uno de esos toboganes de un parque acuático en los que tanto se divertían sus nietos. Otto tomó el camino del cilindro más alejado, recorriendo una enorme recta, aunque pudo comprobar con el radioteléfono que llegaba a su inyectora al mismo tiempo que Diesel lo hacía a la suya.

Mientras tanto Buchi ya se encontraba en el flujo de aire y después de atravesar un filtro entró en el compresor, que en esos momentos giraba a 20000 RPM. Allí aumentó la presión a 1,25 Kg/cm^2. Al salir del compresor Buchi tuvo que atravesar el auténtico laberinto que supone el enfriador de aire de carga, chocando con numerosas y frías aletas, y de allí llegó por fin al colector de admisión. Casi sin tiempo para examinar el enorme recipiente en el que se encontraba fue aspirado por un conducto de admisión, entrando en el cilindro nº8 en un auténtico torbellino. En el momento en que entraba comprobó que la válvula de escape aún continuaba abierta; y lo estuvo durante un buen rato (0.11 msgs.).

Al cerrarse el escape el cilindro bajaba hacia el punto muerto inferior y Buchi aprovechó para comprobar que el estado de la camisa era bueno.

Ya había llegado al punto más bajo y el pistón iniciaba la subida cuando Buchi comprobó que la válvula de aspiración aún continuaba abierta, seguía entrando aire y continuaba aumentando la presión; ya estaba por encima de 1,25 Kg/cm2 y ni siquiera se había producido la incomunicación del cilindro.

Por fin el cilindro quedó incomunicado del exterior y la presión empezaba a aumentar de manera mucho más rápida. Buchi pudo comprobar que en algunas zonas quedaban gases de la combustión ante-

rior. Recibió entonces la llamada de Diesel y aunque con algunas interferencias escuchó: “Voy hacia el cilindro Nº 8. Prepara el recibimiento”.

Cuando el pistón había llegado al PMS el volumen ocupado por el aire era 13 veces menor que el que ocupaba en la parte más baja, parecía que allí no cabría nada más, además ya se habían abierto las toberas de las inyectoras del cilindro, dando paso a una fina nube de combustible extraordinariamente atomizado. Buchi esperaba a Diesel en las cercanías de la tobera y ambos fueron arrastrados en un auténtico torbellino.

Tan sólo 0.04 msgs después de empezar a penetrar el combustible se producía la ignición, pudiendo medirse una presión máxima en el cilindro de más de 60 kg/cm^2. La temperatura en ese momento era de unos 600 ºC.

El calor era agobiante, así que a ambos les agradó el hecho de que el pistón descendiese de forma que la cámara se ampliase. En un rincón de la cámara encontraron una temperatura algo menor, sin embargo ellos sabían que aquel gradiente de temperatura no era bueno para los materiales.

Recibieron la llamada de Stokes, que se encontraba en el circuito de refrigeración de pistones, concretamente en el bulón del pistón Nº 8. En la misma les comunicaba que era posible la existencia de alguna rotura en los aros del pistón, ya que llegaba al cárter un buen flujo de gases. Diesel y Stokes comprobaron que se trataba de una alineación de las aberturas de los aros, lo cual tenía fácil arreglo.

Enseguida el pistón comenzó a subir y los gases escapaban por la válvula de escape hacia la exhaustación una vez atravesada la turbina de la turbosoplante. A Diesel el camino de la exhaustación le pareció bastante sencillo, ya que él esperaba la existencia de una gran caldereta de gases de escape y sin embargo no había ninguna instalada.

Por fin, Diesel, Buchi y Otto salieron por la chimenea del barco, mientras que Stokes, que había detectado una pequeña fuga de aceite en una brida del circuito, cayó a la sentina en una mezcla de agua y aceite que allí había. Indignado por lo sucio que se encontraba, fue a reunirse con sus amigos para hablar sobre sus experiencias en el viaje.

Caminaban por el muelle cuando un joven, que estaba escuchando su conversación, no dudó en acercarse a ellos y proponerles un nuevo viaje por una máquina que él conocía en la cual las temperaturas y turbulencias del aire y los gases de la combustión eran, según sus palabras, de unas dimensiones mucho mayores a las que ellos conocían.

Muchos ya habrán adivinado que el nombre del joven en cuestión era Brayton, y la máquina de la que les hablaba era una turbina de gas, pero eso ya es otra historia.

Exigencias especiales para el amarre en buques

TN (CIA) Raúl Villa Caro
Inspector de Nuevas Construcciones
del Arsenal de Ferrol

Requisitos para el movimiento con remolcadores

Las disposiciones para el manejo con remolcadores consisten básicamente en el correcto emplazamiento de los guiacabos y bitas asociadas para la guía y fijación de la línea de remolque. Además se debe disponer de medios adicionales para recoger la maniobra a bordo. Esto consiste en roletes adecuados y guiacabos o bitas que dirijan la línea de recogida sobre el cabirón de la maquinilla de amarre (chigre).

A la hora de determinar la posición de los guiacabos, los siguientes puntos deberán ser tomados en consideración:

- Se dispondrá una correcta separación entre los guiacabos, asegurando una correcta maniobrabilidad para los remolcadores. Para grandes remolcadores manejando buques de gran porte (VLCC y ULCC), esta separación será de, como mínimo, entre 50 y 60 metros.
- Las posiciones de los guiacabos deberán estar en el mismo plano transversal que las posiciones de empuje para los remolcadores. De esta manera los remolcadores podrán alternar entre el empuje o el tiro del buque desde la misma posición. Los guiacabos de proa y de popa estarán ubicados lo más cerca de las cabezas del buque posible (a proa o a popa), asegurando de esta manera un par de giro mayor para el movimiento del buque, pero no tanto como para que en dicha posición no sea posible el emplazamiento de una posición de empuje del buque, tal como el bulbo de proa. Cabe destacar que las posiciones de empuje (y en consecuencia los guiacabos) de los remolcadores se ubicarán normalmente cercanas a mamparos transversales.
- Se requerirá una posición “neutral” de tiro o empuje para remolcadores en la sección media del buque para permitir la comprobación continua del movimiento del mismo sin la aplicación de un momento torsor.

Para VLCC´s y ULCC´s los requerimientos arriba indicados resultan generalmente en cinco posiciones de tiro/empuje a cada banda del buque. Para buques más pequeños no se puede disponer de una separación adecuada para cinco remolcadores, por lo que tres posiciones a cada banda serían suficientes.

Figura 1 – Punto de tiro del costado de babor del buque “Arklow Meadow”

Figura 2 – Punto de empuje a popa babor del buque "Arklow Meadow"

Si una de las bitas es usada exclusivamente para asegurar las líneas del remolcador, ésta deberá estar dimensionada de acuerdo con la fuerza de tiro del remolcador, pero en ningún caso excederá los 500mm. Si la bita va a ser empleada en múltiples aplicaciones se recomienda que su tamaño y resistencia se determinen de acuerdo a las tablas proporcionadas por el OCIMF Mooring Equipment Guidelines en sus tablas 4.3 (Sección 4) y 8.1 (Sección 8).

Figura 3 – Movimiento con remolcadores

Requisitos para el amarre de barcazas/barcos de apoyo

En algunos casos se amarran barcazas o buques pequeños al buque, lo que puede hacerse con los medios de amarre ya existentes en el buque. Sin embargo, en algunos VLCC´s y ULCC´s existe una carencia de amarres específicos para esto a lo largo del buque. En este caso se recomienda que se proporcione un conjunto de guiacabos y bitas a babor y estribor, a unos 35 metros a proa y popa de la sección media y, en su caso, en la sección de aprovisionamiento de combustible de popa.

Figura 4 – VLCC con remolcadores

Requisitos para el tránsito por canales

Para el tránsito por canales se requerirán accesorios especiales. Los requisitos más conocidos son los del canal de Panamá, donde los buques son remolcados dentro y fuera de las esclusas mediante locomotoras situadas en los márgenes del canal, las cuales tienen sus propias líneas de amarre montadas sobre cabrestantes. Los buques aptos para el tránsito a través del Canal de Panamá cumplirán los requisitos detallados en el U.S Central Federal Register (CFR), Title 35, Chapter 1, Part 4. Algunos requisitos para el tránsito por dicho Canal se recogen también en la Sección 8 del OCIMF Mooring Equipment Guidelines.

Figura 5 – Buque en tránsito por el canal de Panamá

Figura 6 – Locomotoras remolcando un buque en una de las esclusas del canal de Panamá

Requisitos para el remolque de emergencia

En 1994 la OMI acordó las enmiendas al Convenio SOLAS como un nuevo Reglamento Ch. V/15-1 (Ch. II-1/3-4 del 01/07/98), que contiene las siguientes disposiciones:

- Todos los "buques tanque" de 20.000 toneladas de peso muerto o más, construidos después del 1 de Enero 1996 contarán con medios de remolque de emergencia en las dos bandas.
- A todos los "buques tanque" ya existentes de 20.000 toneladas de peso muerto o más se les proporcionará medios de remolque de emergencia a ambas bandas del buque en su primera varada obligatoria después del 1 de Enero de 1996, pero en todo caso, nunca más tarde del 1 de Enero de 1999.
- El término "buque tanque" incluye a los buques petroleros, quimiqueros y gaseros.
- Los componentes mínimos de remolque de emergencia con los que contarán se regirán por la siguiente tabla:

Componente	Proa	Popa
Cable-estacha de remolque	Opcional	Requerido
Equipo de recogida	Opcional	Requerido
Equipo evita roces	Requerido	Depende del diseño
Guía de remolque	Requerido	Requerido
Bita de remolque	Requerido	Requerido
Rolete	Requerido	Depende del diseño

Tabla 1 – Componentes de remolque de emergencia requeridos

- La disposición de proa de las bitas, guiacabos, y roletes reflejará las directrices previamente contenidas en la Resolución de la Asamblea de la IMO A. 535 (13), que en muchos petroleros, pueden incluirse dentro de los accesorios recomendados para facilitar el amarre en boyas.
- La disposición introducida desde que la Resolución A535 (13) de la Asamblea de la OMI fue presentada establece el requisito para el buque de contar con un cable-estacha de remolque preapareja-do e incorporando un equipo de recogida. El equipo de recogida será capaz de desplegarse manualmente por una persona y el cable-estacha de remolque será completamente desplegado en un máximo de 15 minutos bajo condiciones portuarias.

Bibliografía

[1] EFFECTIVE MOORING, *Witherby Seaman,* OCIMF, 2010.

[2] MOORING AND ANCHORING SHIPS, C. *Clark,* London Nautical Institute, 2008.

[3] MOORING EQUIPMENT GUIDELINES, *Oil Companies International Marine Forum,* OCIMF, 2008.

Simulación del movimiento de balance del buque

TN (CIA) Juan Manuel de Santiago Collada
DIMAN-JAL

Introducción

A quien haya navegado en un buque de guerra, le resultará familiar la orden del Señor Comandante: «trincar el buque a son de mar». Es el aviso de que se espera mala mar. Un marinero matalote diría «un maretón» o «julepe». Lo más usual es que siempre que sea posible, y para hacer más llevadero aquel trance, el Oficial Comandante de la Guardia en la Mar mande poner un «rumbo cómodo». Más pronto que tarde se escuchará por la red de órdenes generales el temible: «Informativo, el buque se va a atravesar a la mar». Tras unos instantes y mientras cae, el buque pasa de unos grados de balance, hasta en ciertas ocasiones, sobrepasar los 30, para poco después regresar a la situación inicial. En este proceso es muy característica la aparición del sonido propio de las vajillas cuando se hacen trizas. Lo sucedido se denominada *sincronismo transversal*.

Resulta muy intuitivo (además de cierto) concluir que no todos los buques se comportan del mismo modo en idéntica circunstancia. Mientras que unos, ante la situación anteriormente descrita, responden con períodos de balance más bien pequeños (lo que evidencia ser poseedores de una gran estabilidad), otros al contrario, tienen unos períodos de balance muy grandes. A los primeros se les denominan buques «duros», y a los segundos «blandos» o «perezosos». Los marinos saben que el segundo caso es consecuencia de que el buque tiene una *altura metacéntrica transversal* $\mathrm{GM_t}$ excesivamente pequeña. Si alcanza valor negativo, o aun siendo positivo, no sobrepasa el criterio establecido para su caso, podría el destino depararle a aquel buque, su postrer movimiento de balance.

No resulta fácil determinar cuál es el período de balance idóneo. Un buque demasiado estable conlleva incomodidad para su barcada. En cambio, disminuye la probabilidad de corrimientos de pesos, o en otros casos facilita la estabilización necesaria para el seguimiento de blancos. Es por esto que la tendencia general es a que los buques de pasaje sean «blandos», y «duros» los de carga o los de guerra.

A la vista de lo trascendental del asunto, se antoja útil obtener un modelo del movimiento de balance del barco, que permita predecir su comportamiento en toda situación, y así poder tomar aquellas medidas que permitan al menos, minimizar los riesgos mencionados. A medida que trata de aproximarse al comportamiento real del sistema, la operatoria se dificulta notablemente, abocándonos a realizar simplificaciones, sacrificando en tanto exactitud. Tal es así, que dependiendo de su magnitud, podría conducir a la falta de validez del modelo.

El presente artículo pretende abordar el conocimiento del movimiento de balance de un buque «A», de cuyos datos disponemos. Deseamos especialmente identificar cuáles son las situaciones potencialmente peligrosas en las que se va a encontrar el buque, para varias condiciones diferentes, traducido en correspondientes *alturas metacéntricas* GM. Se persigue la obtención de una solución de dos maneras distintas. Ambas, para simplificar el problema, contemplan las presunciones de que no existe resistencia al avance alguna, ni otro movimiento diferente al debido a su balance. El primer enfoque conduce a la obtención del *diagrama de sincronismo*, empleado a bordo. Éste, aún siendo particularmente útil, adolece de la falta de fiabilidad exigible a medida que el buque alcanza mayores inclinaciones. El segundo enfoque logra una solución exacta mediante el empleo de la potencia de cálculo de un ordenador.

Levantamiento del diagrama de sincronismo

Partiendo de las simplificaciones mencionadas y así, el *par adrizante* deberá ser igual al producto del *momento de inercia* I del buque respecto al eje de giro por su *aceleración angular* α, luego:

$$I \cdot \alpha = I \cdot \ddot{\theta} = -g\ \Delta GZ \qquad \textbf{(1)}$$

, siendo Δ el *desplazamiento* del buque, GZ el *brazo de su par adrizante* y g la *aceleración de la gravedad*.

Se considera que para pequeños ángulos de inclinación, el *metacentro transversal* se encuentra sobre crujía $\mathrm{GZ} \approx \mathrm{GM_t}\ \sin\theta = GM_t\ \theta$. Aquello se supone cierto únicamente hasta aproximadamente los 8°, a partir de lo cual, dicho centro recorre la denominada evoluta metacéntrica. En consecuencia, y en tal caso, el metacentro se alejará de crujía, perdiendo rigor lo anteriormente dicho.

Si i es el *radio de inercia*, el *momento de inercia* del buque se puede tomar como:

$$I = \Delta \cdot i^2 \qquad \textbf{(2)}$$

Con lo que sustituyendo en la ecuación general:

$$\Delta \cdot i^2 \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + g\ \Delta \mathrm{GM_t}\theta = 0 \qquad \textbf{(3)}$$

Dividiendo entre $\Delta \cdot i^2$ queda:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g\ \mathrm{GM_t}}{i^2}\theta = 0 \qquad \textbf{(4)}$$

Nos encontramos ante una ecuación diferencial cuya solución general es de la forma:

$$\theta = \mathrm{A}\sin\omega t + \mathrm{B}\cos\omega t \qquad \textbf{(5)}$$

Derivando θ en función del tiempo:

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= \mathrm{A}\omega\cos\omega t - \mathrm{B}\,\omega\sin\omega t \\ \ddot{\theta} &= -\mathrm{A}\omega^2\sin\omega t - \mathrm{B}\,\omega^2\cos\omega t \end{aligned} \qquad \textbf{(6)}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación (3) queda:

$$-\mathrm{A}\omega^2\sin\omega t - \mathrm{B}\,\omega^2\cos\omega t + \frac{g\ \mathrm{GM_t}}{i^2}(\mathrm{A}\sin\omega t + \mathrm{B}\cos\omega t) \qquad \textbf{(7)}$$

Operando:

$$\mathrm{A}\left(-\omega^2+\frac{g\ \mathrm{GM_t}}{i^2}\right)\sin\omega t+\mathrm{B}\left(-\omega^2+\frac{g\ \mathrm{GM_t}}{i^2}\right)\cos\omega t=0$$

$$\left(-\omega^2+\frac{g\ \mathrm{GM_t}}{i^2}\right)(\mathrm{A}\sin\omega t+\ \mathrm{B}\cos\omega t)=0 \qquad \textbf{(8)}$$

De darse la condición de (8), debe suceder o bien que $(\mathrm{A}\sin\omega t+\ \mathrm{B}\cos\omega t)=0$, para lo cual tiene que ocurrir que $\mathrm{A}=\mathrm{B}=0$, situación ilógica puesto en cuyo caso no habría oscilación, ó:

$$-\omega^2+\frac{g\ \mathrm{GM_t}}{i^2}=0 \qquad \textbf{(9)}$$

La ecuación (9) nos va a permitir obtener el *período doble de balance* T del buque:

$$\omega^2=\frac{g\ \mathrm{GM_t}}{i^2}\Rightarrow\omega=\frac{\sqrt{g\ \mathrm{GM_t}}}{i} \qquad \textbf{(10)}$$

Como $\omega=2\pi/\mathrm{T}$:

$$\mathrm{T}=\frac{2\pi\ i}{\sqrt{g\ \mathrm{GM_t}}} \qquad \textbf{(11)}$$

Expresando i en función de la manga del buque (esta relación se obtiene de forma experimental), y agrupando las constantes:

$$\boxed{\mathrm{T}=\frac{f\cdot B}{\sqrt{\mathrm{GM_t}}}} \qquad \textbf{(12)}$$

, siendo:

- f *coeficiente de balance,* que depende del tipo de buque y su condición de estabilidad.
- B *manga de trazado* del buque

Esta expresión, de primordial importancia, resulta ser además sumamente práctica. Le da idea al Oficial de Guardia de la situación muy aproximada de estabilidad del buque. Siendo constantes y conocidas f y B, y cronometrando el *período doble de balance*, llegamos despejando a la *altura metacéntrica transversal* $\mathrm{GM_t}$. Parece buen momento para recordar que una altura metacéntrica negativa implica que el barco, con toda seguridad, dará la vuelta.

La separación L entre las dos crestas que pasan por A y B, como muestra la Figura 1, es decir, la *longitud de la ola* vendrá dada por la expresión:

$$L = AB \cos \alpha \tag{13}$$

, siendo α el ángulo que forma la línea proa-popa con la dirección de propagación de la ola medido desde la proa.

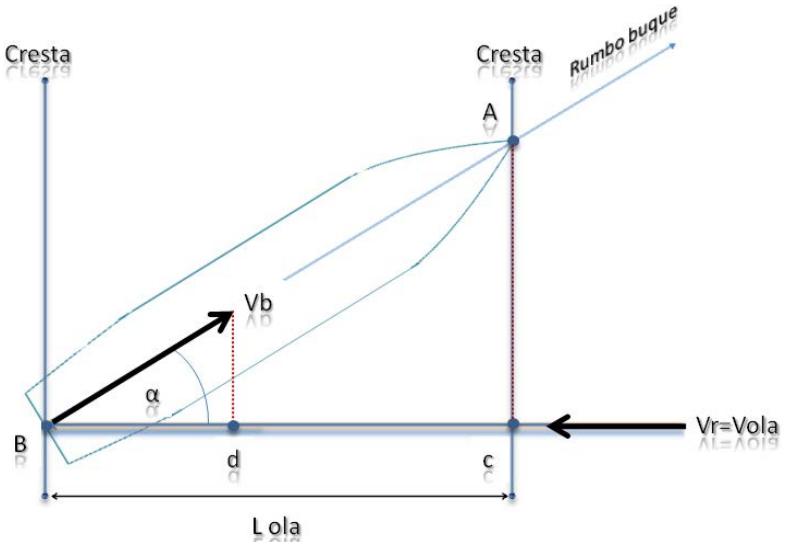


Figura 1. Determinación de la longitud de la ola

Con el objetivo de obtener la *velocidad de las olas* se parte de dos supuestos:

a) Buque parado:

Considerando la Figura 1, en este caso, cuando pase la cresta por el punto *B* se pone el cronómetro en marcha, al llegar la siguiente cresta a *B* se para él mismo. La velocidad real de la ola será:

$$V_r = \frac{L}{t} = \frac{AB \cos \alpha}{T_r} \tag{14}$$

, siendo:

- V_r velocidad real de traslación de la ola en *m/s*
- *AB* separación entre los observadores
- T_r período real de la ola. Tiempo transcurrido entre el paso de dos crestas sucesivas en *s*
- α ángulo que abre la mar desde la proa
- *L* longitud de la ola en *m*

b) Buque navegando:

La velocidad con que en el buque ven moverse la ola será una aparente y no la real. Esta *velocidad aparente* V_α será la suma o resta de dos componentes, según que el buque vaya hacia la ola o se aleje de ésta. El signo será positivo si el buque tiene la mar de proa y negativo en el caso contrario.

$$V_\alpha = V_r \mp V_b \cos\alpha \tag{15}$$

Para determinar *el período de las olas* hay que tener en cuenta que el *período real de la ola es* $\mathrm{T_r} = \mathrm{L/V_r}$, siendo L la l*ongitud de la ola* y $\mathrm{V_r}$ la velocidad real de la ola. El *período aparente* sería $\mathrm{T_a} = \mathrm{L/V_a}$, siendo $\mathrm{V_a}$ la *velocidad aparente de la ola*:

- $\mathrm{T_r}$ tiempo de encuentro con dos crestas sucesivas con el barco parado
- $\mathrm{T_a}$ tiempo de encuentro con dos crestas sucesivas con el buque navegando

Anteriormente se ha visto que $V_a = \mathrm{V_r} \mp \mathrm{V_b} \cos \propto$, con lo que sustituyendo V_a en la expresión del *período aparente* T_a queda:

$$T_a = \frac{L}{V_r + V_b \cos \propto} \tag{16}$$

Empleando el modelo de ola trocoidal se asume que $\mathrm{V_r} \cong 1.25\sqrt{L}$, con lo que la expresión del período pasa a:

$$T_a \cong \frac{L}{1.25\sqrt{L} + V_b \cos \propto} \tag{17}$$

Del mismo modo también podemos determinar el *período real* $\mathrm{T_r}$:

$$\mathrm{T_r} = \frac{\mathrm{L}}{V_r} = \frac{\mathrm{T_a V_a}}{V_r} \tag{18}$$

Como $\mathrm{V_r} \cong 1.25\sqrt{L}$ y $V_a = \mathrm{V_r} + \mathrm{V_b} \cos \propto$, sustituyendo:

$$T_r \cong \frac{\mathrm{T_a}\left(1.25\sqrt{L} + \mathrm{V_b} \cos \propto\right)}{1.25\sqrt{L}} \tag{19}$$

A la vista de los datos conocidos estamos en condiciones de poder levantar el *diagrama de sincronismo* del buque. Para ello partiremos de la ecuación (12), que como recordamos, establecía una interesante relación entre el *período doble de balance* T y la *altura metacéntrica transversal* $\mathrm{GM_t}$ del buque, a través de *la manga de trazado* B y una constante característica para cada buque, denominado *coeficiente de balance* f .

$$T = \frac{f \cdot B}{\sqrt{\mathrm{GM_t}}}$$

Como se dijo anteriormente, la condición para que exista sincronismo es que el *período doble de balance* sea igual al *período aparente de la ola*, esto es $T = T_a$.

Supongamos que disponemos de un buque del que deseamos levantar sus curvas de sincronismo para las velocidades $V_b = 5\ Knts$,$V_b = 10\ Knts$, $V_b = 15\ Knts$ y $V_b = 20\ Knts$.

Las características del buque son las siguientes:

- $\mathrm{GMt} = 0{,}64\ \mathrm{m}$
- $\mathrm{f} = 0.694$
- $\mathrm{B} = 17.3\ \mathrm{m}$

Se pretende hallar la respuesta a los trenes de olas desde 0 a 600 metros:

$$T = \frac{f \cdot B}{\sqrt{\mathrm{GM_t}}} = \frac{0{,}694 \cdot 17{,}3}{\sqrt{0{,}64}} \approx 15\ s \qquad \textbf{(20)}$$

Empleando (17) e igualando $T = T_a$:

$$T_a = \frac{L_o}{1.25\sqrt{L_o} + V_b \cos \propto}$$

, y despejando de ella L_o:

$$-L_o + 1.25\ T_a \sqrt{L_o} + V_b \cos \propto = 0 \qquad \textbf{(21)}$$

, obtenemos una ecuación de segundo grado con solución:

$$\sqrt{L_o} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \qquad \textbf{(22)}$$

, siendo:

- $\mathrm{A} = -1$ «Conocido»
- $\mathrm{B} = 1.25\ T_a \sqrt{L_o} = 18.75$ «Conocido»
- $\mathrm{C} = V_b \cos \propto$ «Por determinar»

Para cada una de las V_b, y variando el ángulo de incidencia $\propto$ con la proa, se obtienen dos valores diferentes de $\sqrt{L_o}$, despreciando el menor de los obtenidos.

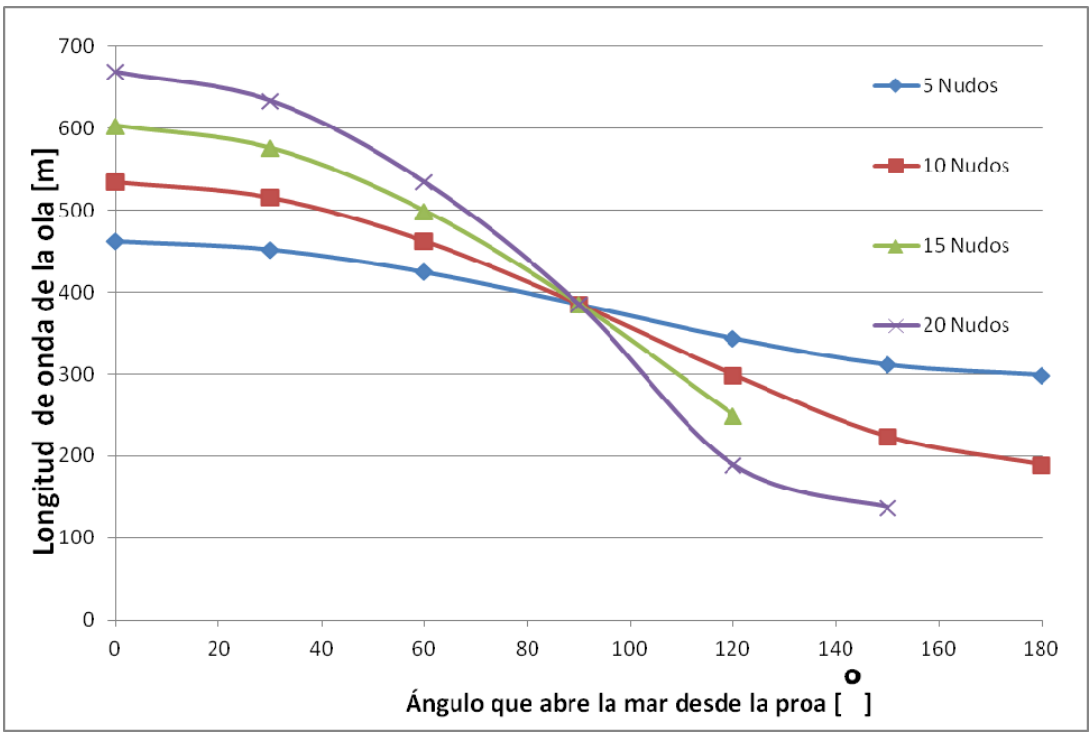


Figura 2. Relación entre ángulo de incidencia y longitud de la ola para diferentes velocidades del buque

Empleo de herramientas de cálculo

Existe la posibilidad de recurrir a paquetes profesionales como el módulo Seakeeper de la suite Maxsurf, lo cual facilita enormemente la obtención de soluciones satisfactorias al problema planteado. Trabajando con estas aplicaciones, nos podemos encontrar ante «cajas negras», de las cuales resulta imposible conocer y por tanto modificar los algoritmos que corren en segundo plano. Podría resultar interesante emplear una herramienta que permitiera la modelización versátil del sistema. Matlab se antoja como idónea para este propósito. La manera convencional de abordar estos problemas es únicamente mediante código. Sin embargo existe una alternativa dentro de Matlab consistente en la modelización por diagramas de bloques. Dicha herramienta es Simulink. Veamos un ejemplo adaptado (Biran, 2003).

El objeto de este apartado es contrastar los resultados obtenidos en el apartado anterior para el buque «A», con los arrojados mediante simulación, mediante el trazado de la correspondiente gráfica que relaciona en el dominio del tiempo, el perfil de una ola y la respuesta del balance del barco, mediante su ángulo de inclinación instantáneo θ.

Para ello partiremos de la ecuación (1), construyéndola en Simulink por bloques relacionados. Añadiremos un *momento escorante* M_H, del cual podremos elegir entre que sea originado por viento (función escalón) o por olas. En este último caso emplearemos una *función seno,* pero sería posible construir una composición de funciones senoidales, como una trocoide.

$$I \cdot \ddot{\theta} + g\,\Delta\,GZ = M_H \qquad \textbf{(23)}$$

Como $I = \Delta \cdot i^2$ queda:

$$\ddot{\theta} = \frac{M_H}{\Delta \cdot i^2} - \frac{g\ GZ}{i^2} = \frac{1}{i^2}\left(\frac{M_H}{\Delta} - g\ GZ\right) \quad \textbf{(24)}$$

Para llegar al resultado de θ será necesario efectuar doble integración. Esto lo realizaremos mediante dos bloques integradores consecutivos $(1/s)$ en el dominio de Laplace.

Disponemos de los siguientes datos del buque «A»:

- Desplazamiento con apéndices: Δ=1900 Tm
- Altura del CDG sobre la quilla: KG1=6.328 m

Necesitaremos ahora calcular los valores específicos de $1/i^2$ y GZ conociendo *el desplazamiento* Δ correspondiente a nuestro buque. El *radio metacéntrico* BM y el *volumen de la carena* ∇ se extraen de las *hidrostáticas* (Tabla 1) y la ecuación que las relaciona con el *momento de inercia* I:

$$BM = \frac{I}{\nabla} \Rightarrow I = BM\ \nabla\ = 9938.6m^4 \quad \textbf{(25)}$$

Así que:

$$\frac{1}{i^2} = \frac{\Delta}{I} = 0.196 \quad \textbf{(26)}$$

El nuevo *metacentro* KM y *radio metacéntrico* BM interpolando entre 3,8 y 4,0 metros de calado en la 1:

$$KM = 8.022 + (7.837 - 8.022)\frac{3.995 - 3.800}{4.0 - 3.8} = 7.841\ m$$

$$BM = 5.361 + (5.361 - 5.663)\frac{3.995 - 3.800}{4.0 - 3.8} = 5.368$$

$$\nabla = 1855 + (1855 - 1713)\frac{3.995 - 3.800}{4.0 - 3.8} = 1851\ m^3$$

Tabla 1. Curvas hidrostáticas del Buque «A»

CARACTERISTICAS HIDROSTATICAS

PPOPA PP CALADO (TA) M	PPROA PP CALADO (TF) M	DESPLA. CON APEND. (DISFA) TM	VOLUMEN TRAZADO BUQUE (DISV) M3	L.C.B CON APEND. (XCBA)* M	L.C.B SIN APEND. (XCB)* M	COEFIC PRISMA TOTAL (CP) -	COEFI. BLOQUE TOTAL (CB) -
3.800	3.800	1758.	1713.	-.029	-.029	.6460	.5370
4.000	4.000	1903.	1855.	.219	.219	.6576	.5522

CARACTERISTICAS HIDROSTATICAS

PPOPA PP CALADO (TA) M	PPROA PP CALADO (TF) M	RADIO METACE. TRANSV. (ZBM) M	LONGIT. RADIO METAC. (ZBML) M	MOMENTO TRIM. 1 CM (MTC) MTM	AREA SUPERF. MOJADA (S) M2	TONS POR CM (TCI) TM/CM	METAC. SOBRE LINEA/B (KM) M
3.800	3.800	5.663	94.92	27.8	949.4	7.20	8.022
4.000	4.000	5.361	89.86	28.5	976.2	7.28	7.837

A continuación calcularemos los *brazos adrizantes*, para tres alturas del centro de gravedad. Del más bajo (buque estable), al más inestable, esto es, el de mayor KG. Aprovecharemos igualmente para determinar la *altura metacéntrica* GM. Usaremos la fórmula para pesos grandes:

$$\begin{gathered} GZ = KN - KR \\ KR = KG \sin\varphi \\ GZ = KN - KG \sin\varphi \end{gathered} \qquad \textbf{(27)}$$

Disponemos de KN extraídas de las *curvas pantocarenas*, de las *hidrostáticas* del buque (Tabla 2):

Tabla 2. Curvas hidrostáticas del Buque «A»

Inclinación en grados	0	10	20	30	40	50	60	70
KN [m]	0	1.360	2.663	3.815	4.676	5.351	5.765	5.926

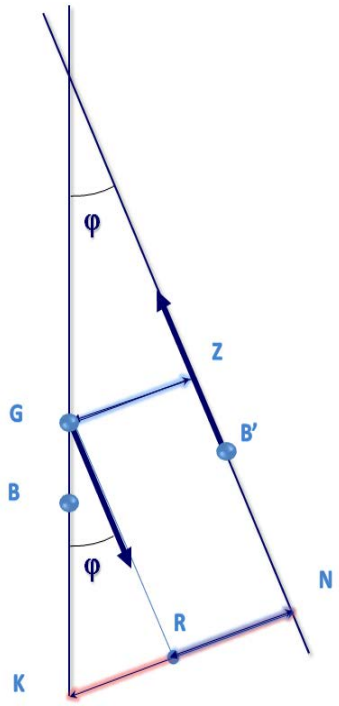


Figura 3. Brazos de curvas inclinadas

```
W = 1900; % Desplazamiento en toneladas
KM = 7.841; % Altura del metacentro transversal

inclinacion = [ 0 10 20 30 40 50 60 70 ];
KN = [ 0 1.360 2.663 3.815 4.676 5.351 5.765 5.926 ];

KG1 = 6.328; % Altura del centro de gravedad
GZ1 = KN - KG1*sind(inclinacion);
inclinacioni = 0: 5: 70;
GZi1 = spline(inclinacion, GZ1, inclinacioni);
plot(inclinacioni, GZi1, 'g-'), grid

GM1 = KM - KG1
plot([ 0 180/pi ], [ 0 GM1 ],'g--')
title('\Delta = 1900 t, KG1 = 6.328 m, KG2=7.000 m, KG3=7.641 m')
xlabel('Ángulo de inclinación [º]')
ylabel('Brazos adrizantes y GM [m]')

KG2 = 7.000; % Altura del centro de gravedad
GZ2 = KN - KG2*sind(inclinacion);
inclinacioni = 0: 5: 70;
GZi2 = spline(inclinacion, GZ2, inclinacioni);
plot(inclinacioni, GZi2, 'b-')%, grid
hold on
GM2 = KM - KG2
```

```
plot([ 0 180/pi ], [ 0 GM2 ], 'b--')

KG3 = 7.641; % Altura del centro de gravedad
GZ3 = KN - KG3*sind(inclinacion);
inclinacioni = 0: 5: 70;
GZi3 = spline(inclinacion, GZ3, inclinacioni);
plot(inclinacioni, GZi3, 'r-')%, grid

GM3 = KM - KG3
plot([ 0 180/pi ], [ 0 GM3 ], 'r--')
```

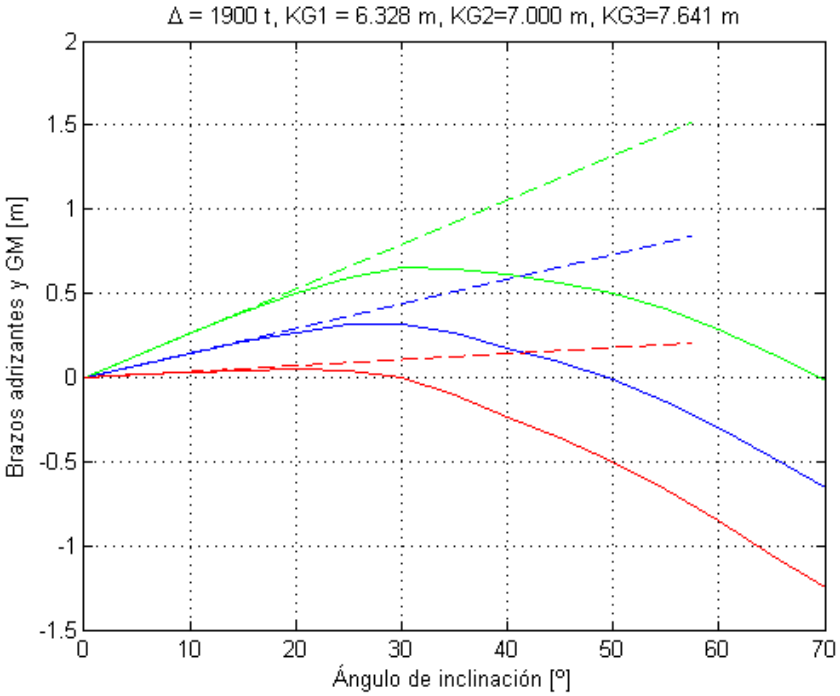


Figura 4. Curvas GZ de tres condiciones del buque «A». Obtención del valor de GM.

Partiendo del valor de obtenido de $KG1 = 6.328\ m$ mediante el código anterior se obtienen efectos en el valor de la *altura metacéntrica* GM, causados al elevar el centro de gravedad de $KG1$ a $KG2$ y $KG3$. Para cada condición, GM es el valor en ordenadas obtenida por la intersección de la recta tangente a la curva GZ en el origen, con el corte en abscisas de un radián ($\sim 53.7°$) de inclinación, según la Figura 5. En la tabla 3 quedan plasmados los resultados.

Tabla 3. Valores de la Altura Metacéntrica GM.

KG [m]	6.328	7.000	7.641
GM [m]	1.513	0.841	0.200

El conjunto de bloques mostrado en la figura 5 establece la solución a la ecuación (24).

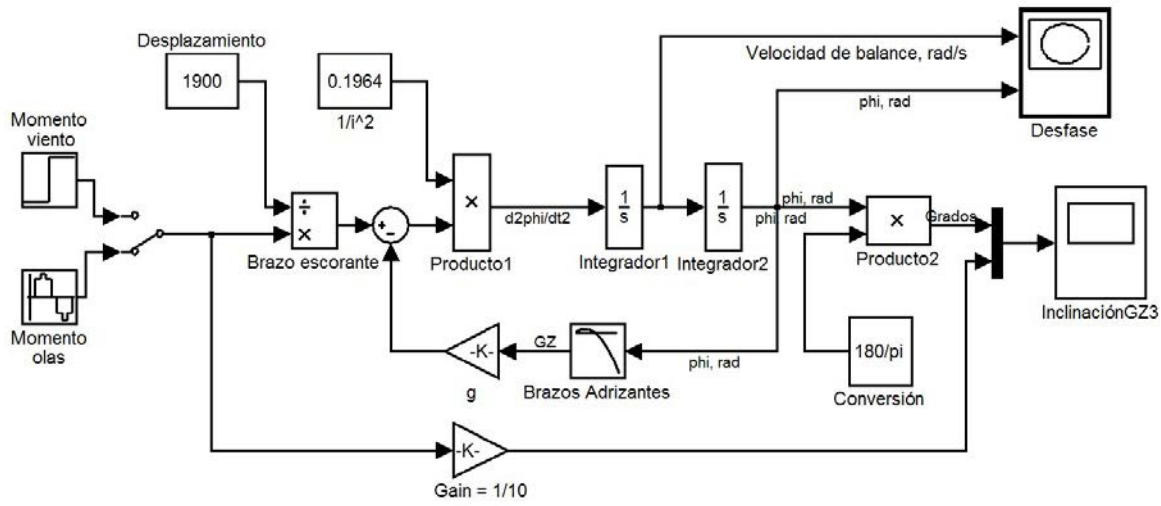


Figura 5. Diagrama de bloques para θ en condición GZ1

La figura 6 representa la respuesta temporal a una entrada senoidal de frecuencia arbitraria, que genera el brazo escorante en el sistema. Se puede apreciar que la respuesta está muy amortiguada. Para cualquier frecuencia los resultados son notablemente similares. La *altura metacéntrica* $GM1$ es muy elevada, lo cual implica un sistema muy rígido. Se comprueba que no existe sincronismo.

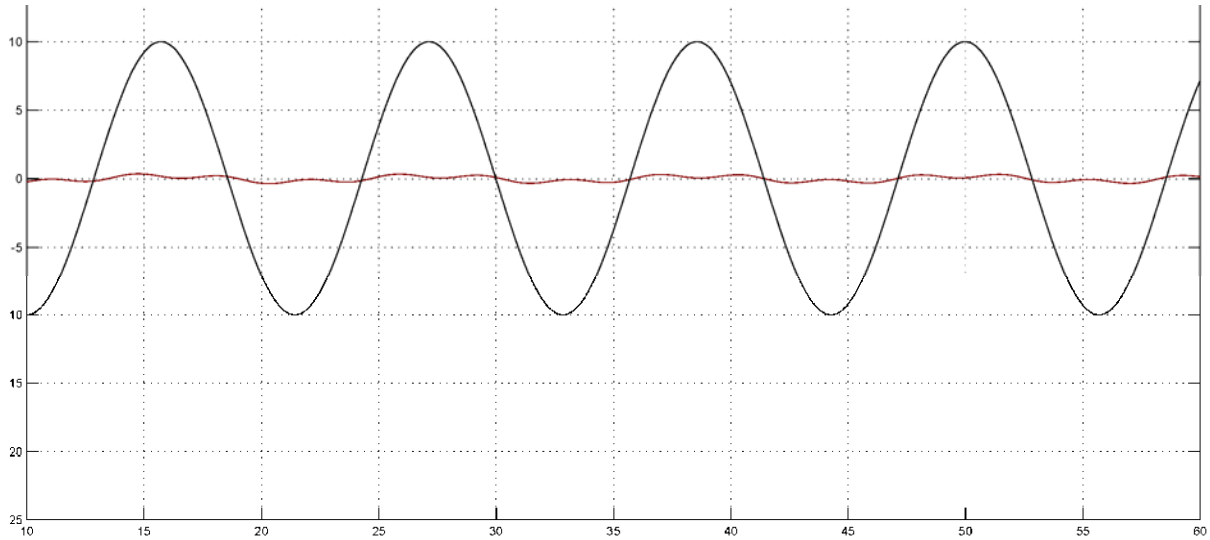


Figura 6. Respuesta para GZ1 (GM1=1,513M). Amplitud 1X

Operando (11) se llega a que el *período doble de balance* T del buque en aguas tranquilas es:

$$\mathrm{T} = \frac{2\pi\, I}{\sqrt{\Delta\, \mathrm{GM_t}}} \qquad \textbf{(28)}$$

Para estudiar el comportamiento general procederemos a obtener la respuesta en cada una de las tres condiciones establecidas, sometiéndole a su frecuencia natural (el período T1 calculado con (28)), y a otras cuatro más, de manera que abarquen el equivalente a las rango de períodos de olas más habituales (Tabla 4).

Tabla 4. Período doble de balances estudiados.

$T01$	$T02$	$T1$	$T2$	$T3$
$8.97\ s$	$10.47s$	$11.53\ s$	$15.46\ s$	$31.70\ s$

Un indicador de la estabilidad del sistema consiste en observar la variación temporal de la inclinación contra la velocidad en el cambio de dicho ángulo. Será estable cuando las oscilaciones sean cortas y recorran trayectorias con tendencia a regresar al origen, como en la Figura 7.

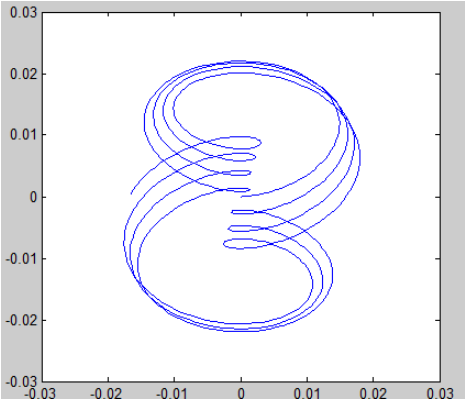


Figura 7. Inclinación contra velocidad de balance de un buque estable

Al contrario, en la Figura 8 es posible ver cómo el sistema es claramente inestable.

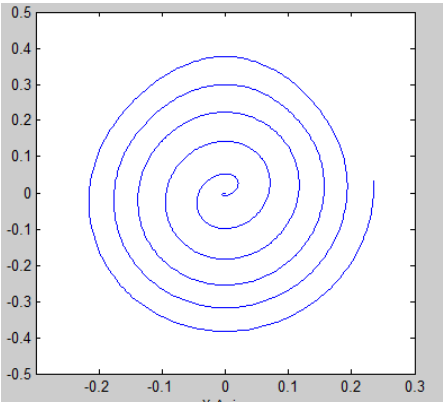


Figura 8. Inclinación contra velocidad de balance de un buque en resonancia.

Si pasamos a la condición *GZ2,* a la que corresponde una *GM2*, esto es, se pasa a una altura metacéntrica menor, es de prever que la respuesta sea distinta y más inestable que en el caso de *GZ1.* En la Figura 9 se aprecia una respuesta bastante notable. Sin embargo no se manifiesta el sincronismo para período de ola alguno. Se alcanzan inclinaciones para cualquier período de oleaje en torno a los 5°. Para el caso de amplitud 1X de *GM2*(Figura 4), al compararlo con la respuesta respectiva a *GM1* es difícil detectar dicho aumento de inestabilidad.

De un vistazo a los 5 planos de fase correspondientes a cada una de las condiciones, es fácil intuir la estabilidad del sistema, disminuirá en tanto las entradas sean mayores (mayor amplitud de oleaje), y en los casos de menor *altura metacéntrica GM*

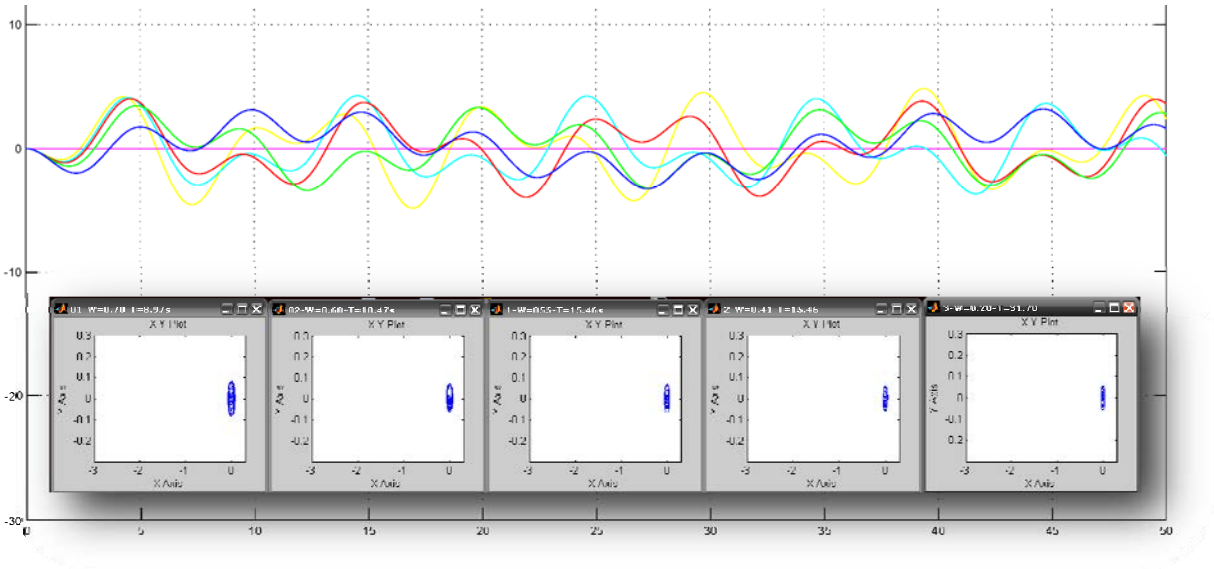


Figura 9. Respuesta para GZ2 (GM2=0.841m). Amplitud 5X

Para las condiciones de carga *GZ3*, con una *altura metacéntrica* muy pequeña *(GM3 = 0·2m)* la situación de sincronismo no se inicia con el período doble de balance calculado para amplios períodos de balance *(T3~32s)*, sino que sin que acontezca en *T01~8·97s*, aparece bruscamente en *T02~10·47s* y *T1~11·53s*, amortiguándose levemente en *T02~15·46s*, y prácticamente desaparecer finalmente en *T3~31·70s* (Figura 11igura 11). Recurriendo a la teoría de las olas trocoidales se tenía que $L \cong 1.56\ T^2$. Sustituyendo los períodos concuerda la predicción realizada en el apartado anterior, mediante el *diagrama de sincronismo*.

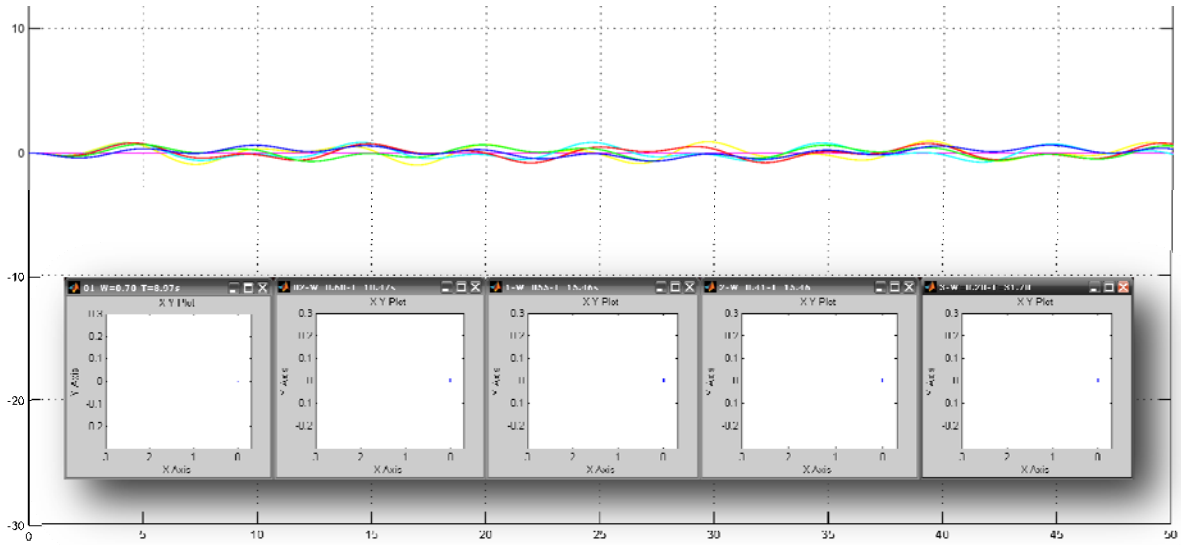


Figura 10. Respuesta para GZ2 (GM2=0.841m). Amplitud 1X

Es concluyente que resulta primordial, en beneficio de la supervivencia del buque, mantener la altura metacéntrica por encima del mínimo establecido por los criterios dictaminados al respecto. Aquello se logra evitando los pesos altos y la presencia de superficies libres, esto es, persiguiendo la disminución del centro de gravedad *G* del buque

Por el contrario, cuando existe altura metacéntrica en demasía, sucede que aumenta la incomodidad para la habitabilidad. Habrá por tanto mantener el *GM* dentro de márgenes. Actuar de esta manera incidirá en la disminución hasta la eliminación, del riesgo de sincronismo transversal.

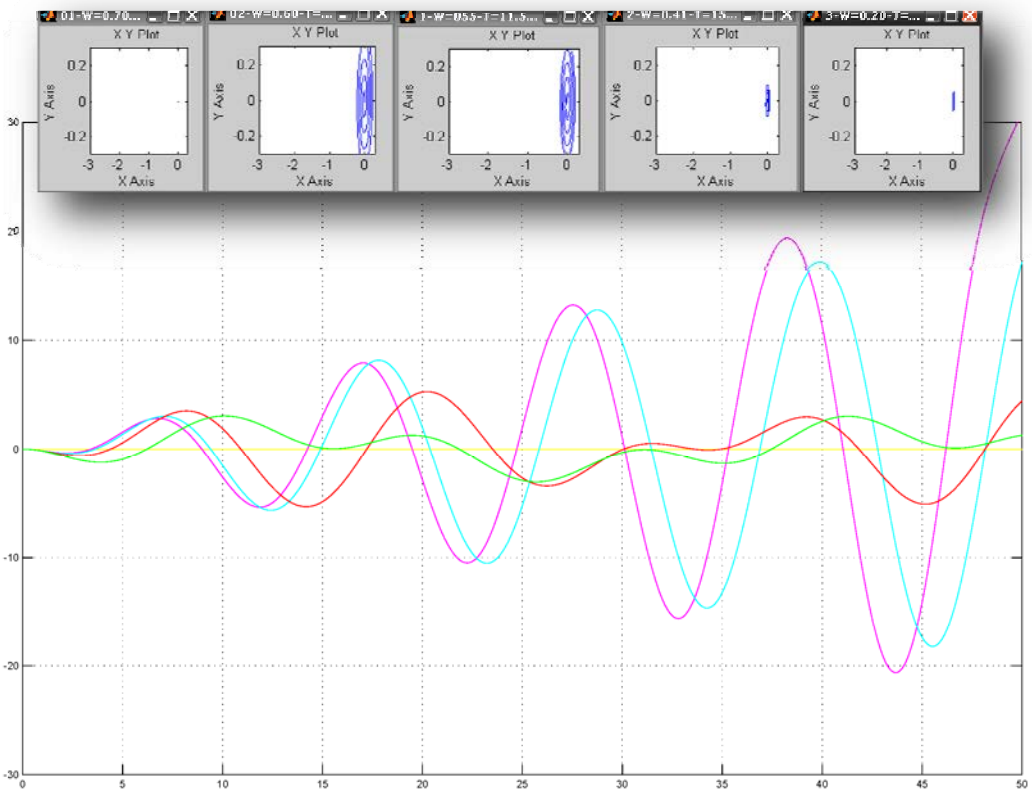


Figura 11. Respuesta para GZ3 (GM3=0.2m). Amplitud 1X

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aláez Zazurca, J. A. (1982). *Teoría del Buque I.* Madrid: ETSIN.
Biran, A. (2003). *Hydrostatics and Stability.* Burlington: Butterworth-Heinemann.
Gamboa, M. (1967). *Nociones de Arquitectura Naval. Teoría del Buque.* Madrid: Editorial Naval.
Lewis, E. V. (1989). *Principles of Naval Architecture. Volume III. Motions in Waves and Controllability.* Nueva Jersey: SNAME.
Montes Coto, H. (1994). Apuntes de Construcción Naval y Teoría del Buque II. Gijón: ESMC.
Rawson, K., & Tupper, E. (2001). *Basic Ship Theory Volume 2. Ship Dynamics and Design.* Woburn: Butterworth-Heinemann.

JORNADAS TÉCNICAS: "ACÚSTICA SUBMARINA"

Los días 27 y 28 de noviembre de 2013, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales (ETSIAN), organizó las jornadas técnicas sobre "Acústica Submarina". Participaron expertos del ámbito de la Armada y de la empresa privada.

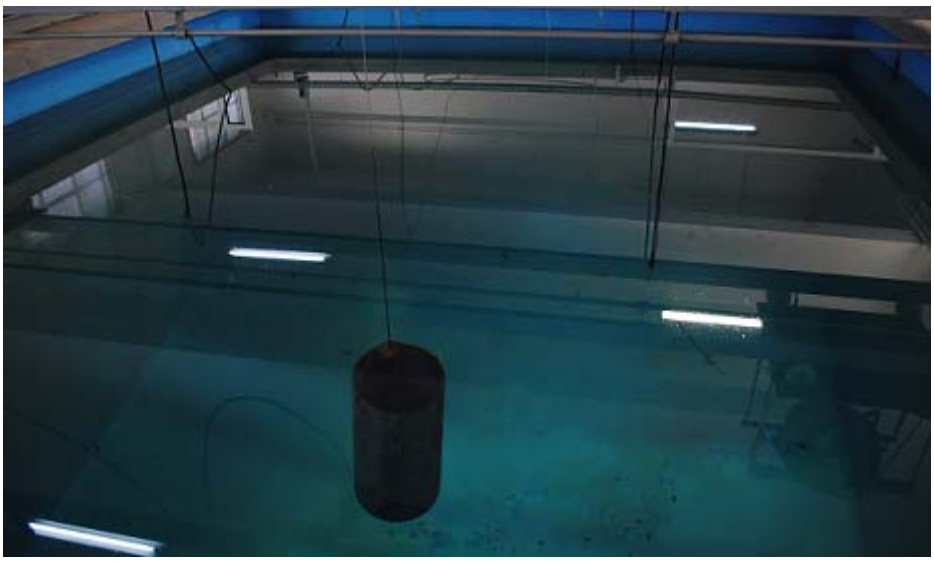
Entre los ponentes se contó con la presencia del Dr. D. VICENTE GALLEGO (ISDEFE-ITM) que impartió una conferencia en la que desarrolló conceptos básicos de acústica física, propagación del sonido en la mar, ruido ambiental submarino y caracterización de blancos submarinos, y se realizó unas prácticas en el tanque de agua del laboratorio de acústica submarina de la ETSIAN. El CN (CGA) D. EUGENIO CALVETE ROLANDI (JAL-DIC), con una dilatada experiencia en el mundo submarino, habló del Estado del Arte en la Acústica Submarina. El Dr. D. ANTONIO SÁNCHEZ GARCÍA, responsable del departamento I+D+i de la empresa SAES, presentó el programa SIRAMIS (Signatura Response Analysis on Multi-influence Mines), que por su enfoque de colaboración internacional y su contenido, relacionado tanto con el ámbito de defensa en relación a la caracterización multi-influencia de buques como con el ámbito medioambiental en relación a la medida de la energía en el medio marino, se configura como un proyecto de interés general que merece la pena ser divulgado. De la empresa ALAVA INGENIEROS, mediante su socio tecnológico RESON representado por D. JOHN FRASER, comentó los últimos avances en la tecnología de sonar activo. Y el CC (CGA) D. CARLOS GARATE PASQUIN, comandante del S-74, submarino Tramontana, ilustró acerca de la recogida de datos, su tratamiento y clasificación, para empelar esta información de forma táctica a las maniobras que debe realizar un buque para evitar contra-detección o para mantener un contacto.

La inauguración de estas jornadas estuvo a cargo del Almirante de Dirección Construcciones Navales, Antonio Sánchez Godinez y la clausura por el Almirante Director de Enseñanza Naval, Marcial Gamboa Pérez-Pardo

Tanque de agua del laboratorio de acústica de la ETSIAN

De izquierda a derecha: AN. CONCEPCIÓN MAZÓN HERRERA (coordinadora de las Jornadas), CF JAIME FRANCO SUANZES (director de las Jornadas), VA. ANTONIO SÁNCHEZ GODÍNEZ (Almirante Dirección Construcciones Navales), CN PEDRO RAMÓN SAURA INESTA (Comandante-Director de la ETSIAN) y CA. ALEJANDRO REY PORTOLÉS (Almirante Subdirección de Ingeniería)

Equipos de acústica



Prácticas en el laboratorio de Acústica Submarina de la ETSIAN a cargo de la profesora de acústica AN (CIA-MOET) Mª Concepción Mazón Herrera

JORNADA ANUAL DE CONVIVENCIA Y CONFRATERNIZACIÓN DEL CUERPO DE INGENIEROS DE LA ARMADA EN LA E.T.S.I.A.N.

(4 de diciembre de 2013)

Como en años anteriores se celebró en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales la jornada anual de convivencia y confraternización del Cuerpo de Ingenieros de la Armada. Antes de la celebración, el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) e ingenieros de la empresa SISTEMAR impartieron unas charlas de carácter técnico en el salón de de actos.

CN Pedro R. Saura Iniesta y CN Francisco Bernal González-Villegas, organizadores de la jornada de confraternización

INGENIEROS EN LA HISTORIA

ÁLVARO DE BAZÁN "EL MOZO" 1ER MARQUÉS DE SANTA CRUZ

Oscar Villalón

Don Álvaro de Bazán y Guzmán nació en Granada el 12 de diciembre de 1526 y falleció en Lisboa el 9 de febrero de 1588, cuando se encontraba preparando la expedición a Inglaterra que posteriormente sería conocida por el mal nombre de la *Armada Invencible.* Está enterrado en la iglesia parroquial del Viso del Marqués, donde construyó su Palacio "Porque pudo y porque quiso", junto con su esposa, doña María Manuela de Benavides.

Su padre, de igual nombre y conocido como Don Álvaro "El Viejo", llegó a ser Capitán General de las Galeras de España, era de estirpe noble de Navarra (Bazán viene de Baztán).

"El Mozo" tuvo la oportunidad de tomar armas en la mar desde muy joven, en compañía de su padre. A su lado estuvo en la victoria naval que consiguió contra la armada francesa frente a las costas de Galicia, el 25 de julio de 1544, conduciendo y custodiando sus presas a la Coruña.

Con 2 años de edad, Carlos V le hizo merced del hábito de Santiago, expresión de la predilección del emperador por su padre. Su ayo Pedro González Simancas, le proporcionó una instrucción humanística muy esmerada y le hizo tener en gran estima a poetas y humanistas, a los que siempre protegió y de los que fue mecenas.

Mandó la reserva de la escuadra de Don Juan de Austria en la "más alta ocasión que vieron los siglos". Su intervención en esa batalla de Lepanto, ha sido juzgada como decisiva.

Sus campañas más destacadas fueron:

- La derrota de la armada francesa en aguas de Galicia.
- La conquista de la isla de La Gomera.
- El socorro a la isla de Malta.
- La batalla de Lepanto.
- La batalla naval y ocupación de la isla Tecera (Azores).

De ahí el verso tan conocido de Lope de Vega, escrito en 1588, que puede leerse en las basadas de las estatuas a él erigidas en Madrid (Plaza de la Vila) y en Marín (Escuela Naval Militar):

"Al fiero turco en Lepanto,
En la Tercera el francés
Y en todo mar el inglés
Tuvieron de verme espanto
Patria honrada y Rey servido
Diréis mejor quien he sido
Por la Cruz de mi apellido
Y con la Cruz de mi espada"

Las cifras de sus éxitos lo dicen todo: 8 islas, 25 villas y 2 ciudades rendidas, 36 castillos y fuertes tomados, 8 capitanes generales, 2 maestres de campo y 60 señores y caballeros principales derrotados. Rindió a 6.243 soldados y marineros portugueses; a 4.759 franceses y 780 ingleses. Liberó a 1.564 cristianos, prisioneros de los infieles. Capturó:

- 44 galeras, 21 galeotas y 1 galeazas
- 88 galeones y 27 bergantines
- 7 caramuzales turcos y 3 cárabos moriscos
- 1.814 piezas de artillería.

Por sus méritos militares el Rey Felipe II le concedió el título de Marqués de Santa Cruz por ser señor de la Villa de Santa Cruz de Múdela, con lo que el Viso del Puerto pasó a llamarse Viso del Marqués. Compró a Felipe II el señorío de la villa de Valdepeñas.

Su Palacio del Viso del Marqués alberga actualmente el Archivo General de la Armada, llamado en su honor "Archivo Don Álvaro de Bazán".