

“Medición y Análisis de la Respuesta de una Embarcación Semiplaneadora a la Acción de las Olas”

José Marín López, Ph.D., Marcelo Paredes
Facultad de Ciencias Marítimas y Ciencias del Mar
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Av. Perimetral Km 30.5, Guayaquil, Ecuador
Jmarin!espol.edu.ec, Lmparedel!espol.edu.ec

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el análisis de la respuesta vertical de una Corbeta Misilera y su incidencia sobre la proficiencia del personal de abordo en la realización de sus tareas. Para ello se utilizó un inclinómetro marca Applied Geomechanics, modelo 900 H y el acelerómetro vertical marca DaqEZ, modelo 4370 con su respectiva tarjeta de adquisición de datos. Este dispositivo se lo montó en la Sala del Sonar, ubicada en la sección Proa del buque para realizar varias mediciones de los movimientos de balance, cabeceo y levantamiento en distintas direcciones con respecto a la ola de incidencia. Los datos de aceleración recopilados fueron almacenados en un computador portátil y procesados en una hoja electrónica de Excel, se calculó los parámetros estadísticos de cada medición como: máxima, media, promedio de la raíz cuadrada y los promedios de la tercera y décima parte de las aceleraciones más grandes. Posteriormente se calculó los Espectros de Energía y Aceleración de los tres movimientos, ya descritos anteriormente, mediante el empleo de un programa en Visual FORTRAN con las subrutinas “SPCTRM” y “FOURI”, y se determinó las frecuencias de máxima energía para cada condición de carga. Finalmente se tomó los espectros de potencia y aceleración del movimiento vertical y se evaluó dentro del 1/3 de la Octava de frecuencia para establecer las frecuencias promedios presentes en el movimiento de Levantamiento, y se comparó con las curvas de evaluación del Mareo y Fatiga que proponen la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y la Estandarización Inglesa (BS) para juzgar el nivel de confort de la embarcación y definir los rangos donde la proficiencia comienza a disminuir.

Palabras Claves: *Respuesta del Buque, Acción de Olas, Mareo, aceleración vertical*

Abstract

In the present work the analysis of the vertical answer of a Misilera Corvette and its incidence was made on the proficiencia of the attack personnel, in the accomplishment of their tasks. For it a clinometer was used marks Applied Geomechanics, model 900 H and a vertical accelerometer Bruel&Kjaer mark, model 4370. The signals through a card of data acquisition mark to Omega model DAQ 308 were stored in a portable computer. The equipment mounted in the Room of Sonar, located in the section Prow of the ship to make several measurements of the movements of Balance, Pitching and Rise in different directions with respect to the incidence wave. The collected data of acceleration were process in a spreadsheet of Excel, with which it calculated the statistical parameters of each measurement like: Maxima, average, average by the square root and the averages of the third and tenth part of the greatest accelerations. Later the Phantoms of Energy and Acceleration of the three movements calculated, already described previously, by means of the use of a program in FORTRAN Line of vision that used subroutines “SPCTRM” and “FOURI”, and were determined the frequencies of Maxima energy for each condition of load. Finally the power phantoms calculated and acceleration of the heave and was evaluated within the 1/3 of Eighth of frequency establishing the frequencies present averages in the movement of Rise, and it is compared with the curves of evaluation of Mareo and Fatiga that propose the Organization the International of Estandarización (ISO) and English Estandarización (BS) to judge the level of comfort of the boat and to define the ranks where the proficiencia begins to diminish. Finally, the formulations of Savitsky were applied to consider the accelerations average of the boat in the zone of Prow, and it compared them with the results of the obtained measurements. Since the boat suitably did not satisfy the ranks with applicability of the mentioned formulations, very different values were obtained on board respect to the observations. Note that yes, the good parallelism in the measurements in state of Sea 4, although the two curves shine like moved a respect to the other.

1. Introducción

La potencialidad de las embarcaciones semiplaneadoras es la rapidez y versatilidad que poseen para realizar operaciones navales de corto, mediano y largo alcance. El elemento humano, que tripula estas unidades, está expuesto a los diferentes movimientos del buque causados por las condiciones del mar, siendo los más relevantes el balanceo, cabeceo y levantamiento. La combinación de estos movimientos produce mareo en la tripulación, disminuyendo su proficiencia en el desempeño de sus funciones. El cálculo de la respuesta de una embarcación a las olas es muy complicado y en el medio local no existen experiencias sobre cálculos ó mediciones de la respuesta hechas en embarcaciones rápidas. Esto evidencia una falta de experticia no solo en el manejo de la información recopilada sino también en los dispositivos de medición a emplearse. El objetivo general de este trabajo es realizar mediciones de la respuesta de una embarcación semiplaneadora en olas y analizar su efecto en la proficiencia de la tripulación. Los objetivos específicos son los siguientes:

Describir un proceso de adquisición de datos de respuesta de la corbeta, en diferentes condiciones de carga, mar y velocidad.

Analizar probabilísticamente las mediciones de respuesta de la corbeta en diferentes condiciones de carga, mar y velocidad.

Analizar el efecto de los movimientos del buque sobre la proficiencia del personal.

Comparar las mediciones de aceleración con formulaciones semiempíricas existentes. Este trabajo permitirá disponer de información real del comportamiento Dinámico de una embarcación semiplaneadora en diferentes estados de mar. Además incorpora un método de medición que es novel en nuestro medio empleando las señales de salida de una Plataforma Inercial, equipo empleado para generar la señal de referencia a los sistemas de armas y gobierno, que contribuirá a la experticia en la recopilación de datos.

2. Descripción de la embarcación.

La embarcación de prueba es una corbeta misilera clase “Esmeraldas” que pertenece al Escuadrón de Corbetas, actualmente en servicio para la Armada Nacional. Fue construida en Italia, exclusivamente para el Ecuador, por el Astillero “La Spezia” en la ciudad de Génova a

inicios de los ochenta. Estas unidades se caracterizan por ser polivalentes, con capacidad de cumplir diferentes roles operativos como guerra antiaérea, antisubmarina y antisuperficie. El casco de la embarcación analizada está construido en acero naval con soldadura a tope, doble continua; la superestructura y las divisiones de los compartimientos sobre la cubierta 100 son de Aluminio con uniones bimetálicas para asegurar el anclaje. El casco tiene forma hidrodinámica, en V; la proa es afinada y el espejo es plano ligeramente inclinado. Estructuralmente es de configuración mixta, longitudinalmente posee esloras como miembros primarios e intercostales como secundarios y terciarios. Transversalmente está constituida por cuadernas (ordenadas) simples y bulárcamas de tal manera que secciona al buque en diez compartimientos estancos, existiendo 125 cuadernas con una separación de 460 mm. Las principales dimensiones son:

Eslora total	62.3 m
Eslora entre perpendiculares	57.8 m
Manga máxima	9.30 m
Puntal de diseño	5.05 m
Desplazamiento de diseño	650 ton
Calado de diseño	2.50 m
Desplazamiento ligero	521 ton
Calado ligero	2.21 m
Calado con sonar activo	3.61 m
Velocidad diseño	30 kn

El armamento abordo es:

Sistema Antiaéreo Albatros
Cañón Otomelara de 76/62 mm
Ametralladora Breda-Bofors 40/70 mm
Lanzatorpedos
Helicóptero

El sistema propulsor está compuesto por cuatro líneas de ejes que se acoplan a cuatro motores marca MTU modelo 20V 956 TB92 con sus respectivos reductores, y que en conjunto poseen una potencia instalada de 20600 Hp. Las hélices son de paso fijo, de cuatro palas cada una. Las velocidades que se desarrollan durante las pruebas son las siguientes:

Tabla 1. Velocidad Promedio durante las Pruebas.

Velocidad del Buque	Velocidad de máquinas (RPM)	Nudos (Kn)
Avante 5	1100	~21
Avante 4	950	~18
Avante 3	800	~16
Avante 1	650	~12

El rango de velocidad y eslora la sitúan dentro del régimen de buques de semidesplazamiento debido a la relación adimensional o número de Froude:

$$F_n = \frac{V_k}{\sqrt{Lg}}$$

F_n = Número de Froude

V_k = Velocidad de diseño, m/s

L = Eslora, m

g = Gravedad, 9.8 m/s²

Analizando este parámetro se obtiene un valor de 0.65, el cual esta dentro intervalo que caracteriza a las embarcaciones semiplaneadoras (0.39 < F_n < 0.89), como se muestra en la figura 1.

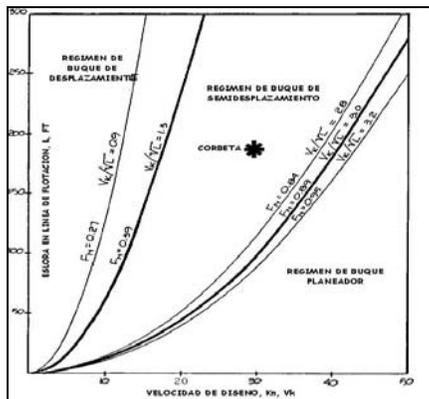


Figura 1. Curvas de los Regímenes de Velocidad para buques, [1].

El comportamiento dinámico del buque dependerá de su desplazamiento. La severidad de la respuesta ante la acción de una ola es inversamente proporcional al peso, lo que hace imprescindible su registro, previo al inicio de cada prueba. Se espera que la unidad a su máximo desplazamiento opere durante periodos de tiempo más largos que en condición media y ligera. Al momento del zarpe, la corbeta, estará a un 95% de su capacidad máxima de cargas líquidas y sólidas; en el transcurso del periplo, el consumo de las mismas hará que el

desplazamiento vaya disminuyendo paulatinamente. Entonces las condiciones de carga serán: máxima, media y ligera; en cada una de ellas se establecerán diferentes rangos de velocidad en las que se registrarán los diferentes estados de mar. A continuación se presentan los datos correspondientes al desplazamiento, calado medio y altura metacéntrica (GM_T) de cada condición:

Tabla 2. Condición de Carga de Prueba

Condición de la Nave	Δ (ton)	Tm (m)	GM_T (m)
Ligera	~680	2.60	~1.02
Media	~725	2.70	~0.81
A plena carga	~750	2.76	~0.79

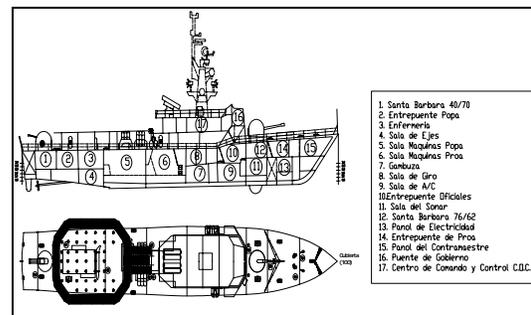


Figura 2. Distribución General de la Corbeta Misilera clase "Esmeraldas"

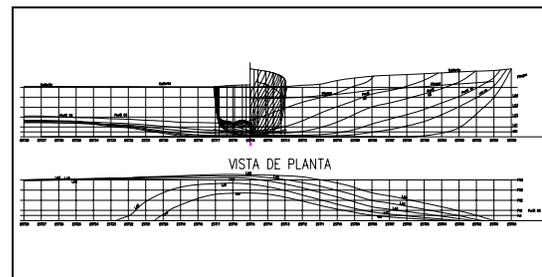


Figura 3. Plano de Líneas de Formas de la Corbeta Misilera clase "Esmeraldas"

3. Antecedentes de la proficiencia del personal embarcado.

La corbeta, como unidad de combate, dispone de una dotación completa formada por oficiales y tripulantes debidamente entrenados para cumplir con las tareas asignadas. Esto significa que el personal debe poseer un alto nivel de proficiencia durante las navegaciones, sometidos constantemente a diferentes estados de mar y condiciones climatológicas adversas que hacen que el confort disminuya. Cabe mencionar la alta

exigencia operacional que demandan estas misiones al personal, motivo por el cual el confort y el bienestar abordo de los buques de guerra se ha vuelto una imperiosa necesidad para asegurar no solo el éxito de la misión sino también la preservación de vidas humanas. Para la prueba se seleccionó 55 sujetos entre oficiales y tripulantes que reportan un tiempo de embarque efectivo, a lo largo de su carrera profesional, como se muestra en la figura 4:

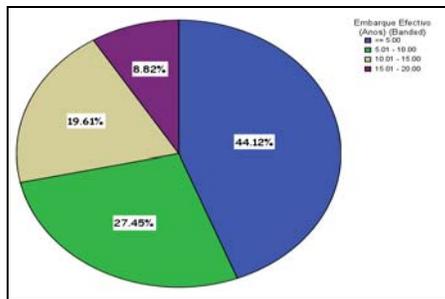


Figura 4. Porcentaje de Tiempo de Embarque Efectivo de Personal de Prueba

Se puede apreciar que existe un intervalo amplio de tiempo de embarque efectivo de aproximadamente 20 años, siendo evidente que la mayoría del personal tiene menos de 5 años. En la carrera naval este es un período relativamente corto de tiempo que normalmente se evidencia en el personal que se inicia dentro de la profesión. Podría pensarse que el mayor porcentaje de individuos que son propensos al mareo se encuentran dentro de ese intervalo y aquellos que no sienten mareo son los que más tiempo de embarque tienen. Para despejar esta incertidumbre, se realizó una encuesta a 55 individuos pertenecientes al buque de prueba, en la que se preguntó el tiempo de embarque efectivo y la susceptibilidad al mareo que el individuo cree tener. Independiente al tiempo de embarque, la susceptibilidad al mareo que reportaron se muestra en la figura 5:

4. Determinación de la densidad espectral de aceleración y energía de la respuesta

Las señales obtenidas de los movimientos de la corbeta están en función del tiempo y representan la amplitud de la respuesta, como se muestra en la figura 6. Estas pueden expresarse en unidades de aceleración como: gravedades (g), para los desplazamientos y rad/s^2 las rotaciones. Para analizar este tipo de señales, que

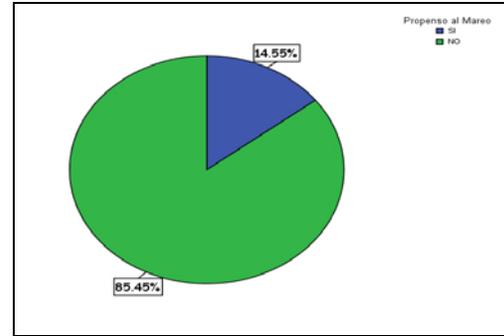


Figura 5. Porcentaje de Susceptibilidad al Mareo del Personal de Prueba

La mayoría del personal, 84.45% reportó no sentir mareo durante las navegaciones mientras que el 14.55% está predispuesto a sentirlo, siendo muchas las causas que producen el mareo como la fisonomía, género y edad. Mediante técnicas de estadística inferencial se puede determinar el grado de asociación o dependencia entre dos o más variables. Para este caso, se busca establecer si existe o no alguna dependencia entre el tiempo de embarque efectivo con la propensión al mareo, mediante el empleo de la tabla de contingencia o cruzada. Aparentemente existe un porcentaje alto de tripulantes propensos al mareo de 87.5% dentro de los 5 años de embarque. Se podría inferir entonces que a menor tiempo de embarque mayor es la susceptibilidad al mareo, sin embargo con respecto al total, corresponde el 12.7%, que es un porcentaje pequeño comparado al 34.5% del personal que no es propenso al mareo. Mediante el programa SPSS [2], se realizó la prueba de correlación. Finalmente, observando los valores de los diferentes coeficientes se puede concluir que no existe una asociación lo suficientemente fuerte entre las variables para relacionarlas entre sí y que el tiempo de embarque efectivo del personal no determina el nivel de propensión al mareo.

están en el dominio del tiempo, tienen que convertirse en el dominio de la frecuencia; con el fin de determinar la frecuencia o rango de frecuencia de máxima de energía.

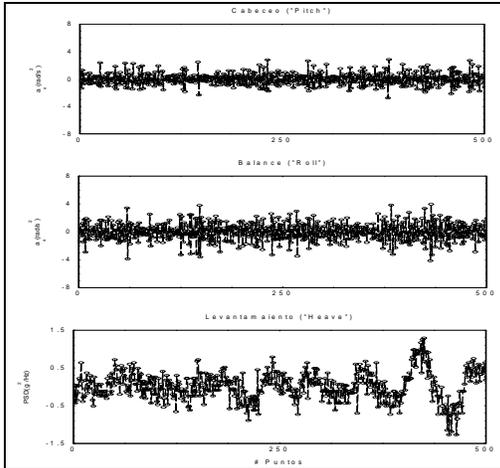


Figura 6. Aceleraciones correspondientes a los movimientos de la Corbeta en Condición de Máxima Carga, 25 de Junio del 2007.

Espectro de Energía

El Espectro de Energía o Potencia, “Power Spectral Density”, es una herramienta muy utilizada para determinar la distribución de energía de una señal aleatoria en función de la frecuencia. Suponga que la señal que se analizará, y (t, ζ), corresponde a un proceso que se estacionario y ergódico, cuya función de autocorrelación es, [14]:

$$R(\tau) = E\{y(t, \zeta)y(t + \tau, \zeta)\} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y_i(t)y_i(t + \tau)dt$$

En el presente trabajo se implemento un programa, “Signal Analyses”, en lenguaje Visual Fortran, que utiliza las subrutinas “SPCTRM” y “FOUR1” que se encuentran en la referencia [14]. En la figura 7 se muestra los espectros de energía de las aceleraciones correspondientes a las señales de la figura 6.

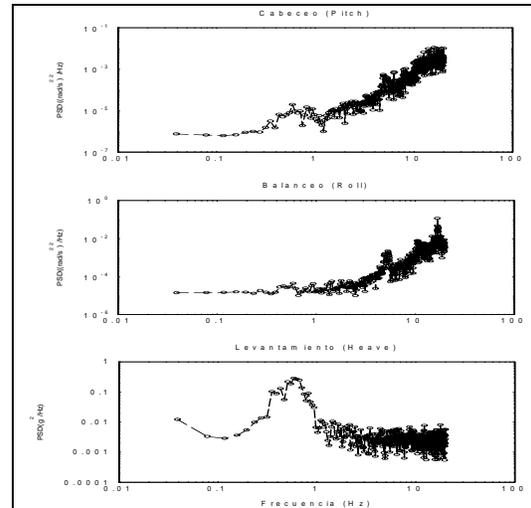


Figura 7. Espectros de Energía de las Aceleraciones de la Corbeta en Condición de Máxima Carga, 25 de Junio del 2007.

5. Análisis Comparativo de la respuesta.

De los seis movimientos del buque, el de mayor impacto sobre la proficiencia del personal, es el levantamiento o aceleración vertical (a_z). Por esta razón se analiza solamente los espectros de energía que corresponden a las dos condiciones de carga: máxima y media. Es evidente que la frecuencia natural (ω_0), en la condición de Máxima Carga es menor con respecto a la Carga Media, debido a las fuerzas inerciales del buque, según la fórmula (3), el periodo de levantamiento es directamente proporcional al calado por lo que en esta condición, con un desplazamiento de 750 ton y calado de 2.75 m hace que el periodo del levantamiento sea grande, es decir que el tiempo en recuperar su posición de equilibrio es mayor que aquel empleado, por el buque, en la Condición Media. Además cuando el desplazamiento del buque comienza a disminuir la respuesta vertical se incrementa, el buque se hace menos confortable. Por ejemplo la

diferencia en el desplazamiento entre las dos condiciones es mínima, alrededor de las 30 toneladas por tal motivo las frecuencias naturales están muy cercanas entre si. Como se muestra en las figuras 16 y 17, las frecuencias de encuentro (ω_e), en la primera condición en un Estado de Mar 4, y la frecuencia de máxima energía tiende a concentrarse en las bajas regiones, en este caso es 0.399 Hz a diferencia de la segunda condición que es igual a 0.567 Hz. Es notorio que conforme aumenta el Estado de Mar, la curva del espectro de ola tiende a desplazarse hacia la derecha, como el caso de Mar 3. Cabe mencionar que las velocidades se mantienen casi constantes, para ambos casos, 21 nudos (Avante 5), Pero el aspecto que impone la diferencia entre los dos espectros es el estado de mar. Las fuerzas de impacto de las olas sobre el casco hacen que este se acelere en las tres direcciones ortogonales con sus respectivas rotaciones. En la figura 22, el estado de mar cuatro hace que la respuesta tenga una mayor amplitud con respecto al comportamiento en estado de mar tres, como se

muestra en la figura 23. Existe una pequeña diferencia en los límites inferiores de frecuencia entre los dos estados, debido a la mínima diferencia entre las condiciones de carga al momento de las mediciones, como se menciono anteriormente.

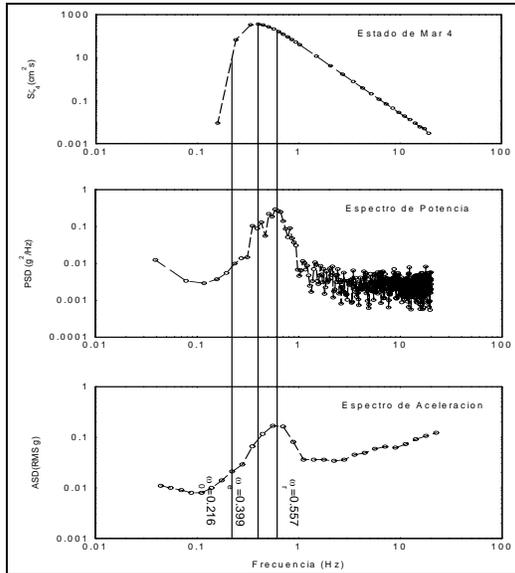


Figura 8. Comparación gráfica de los Espectros de Energía, Aceleración y Olas del buque en condición de carga máxima, velocidad AV 5 con olas en proa, 27/06/07.

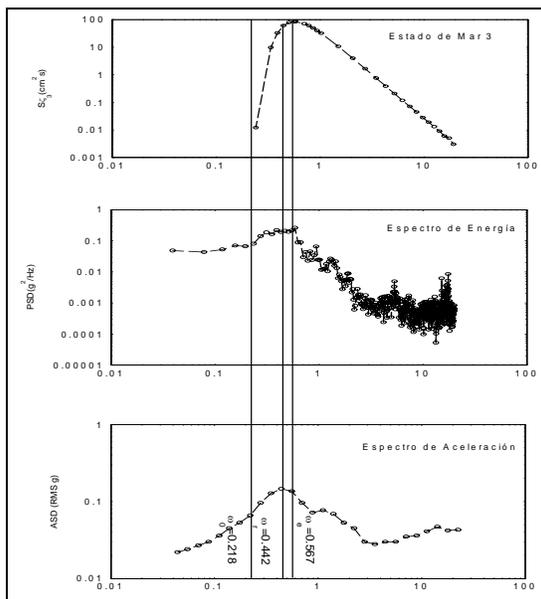


Figura 9. Comparación gráfica de los Espectros de Energía, Aceleración y Olas del buque en condición de carga media, velocidad AV 5 con olas en proa, 29/06/07.

6. Discusión sobre la incidencia del marea.

Las oscilaciones externas, provenientes de una fuente, que reciben las personas o el cuerpo humano pueden afectar subjetivamente el confort, la proficiencia, o producir mareos. Existen muchos métodos para medir estos efectos fisiológicos y definir los límites de exposición a los que una persona puede someterse, muchos de los cuales no son aceptados universalmente. A pesar de esto, existen estudios recientes, [5] que sugieren ciertos rangos de frecuencia que deben ser evitados, desde 0.1 a 1 Hz por los efectos de malestar que producen en el cuerpo humano. En lo referente a la oscilación general del cuerpo, es conveniente clasificarla en movimientos de baja frecuencia, inducidos por las olas que afectan al buque en su conjunto y tienen una mayor influencia sobre el confort del personal. En cambio las vibraciones de alta frecuencia originadas de las máquinas, hélices, ejes y demás sistemas auxiliares tienden a producir ciertas incomodidades. Sin embargo, también existen movimientos de alta frecuencia que son inducidos por el movimiento del buque como la inmersión súbita de la proa en el agua “slamming”, en condiciones severas de mar, que tienen efectos directos sobre el confort. La Organización Internacional de Estandarización en el tratado ISO 2631, [9], establece los parámetros de confort, fatiga y limite de exposición a las que un ser humano puede soportar. Así como la ISO, la British Standard (BS) emplea las mismas curvas características, con ciertas variantes, que sirven para definir las regiones donde disminuye el confort o proficiencia en función del tiempo. Las líneas tienen forma de trapecios invertidos (“bucket shape”) y están linealizadas a lo largo del eje cartesiano, relacionando aceleración versus frecuencia. La región delimitada por estas líneas se conoce como la región de mareo o fatiga.

Región de Mareo

El criterio de mareo, de acuerdo a la parte 3 de dicho estándar, es la más comúnmente usada para evaluar el confort de los pasajeros, y en él se definen los límites o regiones en que una persona experimenta el vómito en base a las aceleraciones promedio (RMS) en función del 1/3 de Octava de frecuencia. El rango de mareo establecido por la norma es de 0.1 - 0.63 Hz.

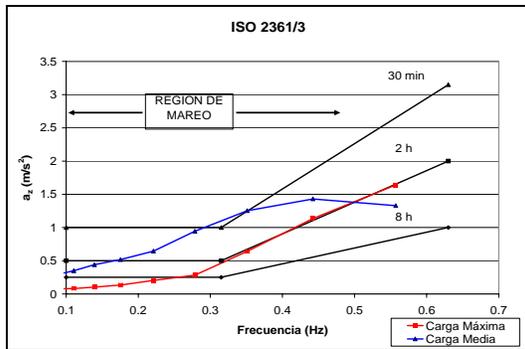


Figura 10. Curvas de límites de la reducción del confort, ISO 2361/3, [9].

En la figura 10, preparada en base al estándar ISO 2631/3, [9], se muestra las curvas de las aceleraciones de las respuestas obtenidas en las pruebas de mar y corresponden a las condiciones en que se realizaron las encuestas. En la condición de Máxima Carga, el buque en bajas frecuencias ($f < 0.3$ Hz) tiene un movimiento vertical casi imperceptible, ni siquiera ingresa a la región de las 8 horas. Para una frecuencia superior a los 0.3 Hz, el buque tiende acelerarse en forma gradual hasta quedar en límite de la región de las 2 horas, en este punto alcanza la máxima aceleración de $1.642 m/s^2$. En la condición de Carga Media, se ve un aumento en la respuesta y alcanza incluso la región de mareo de los 30 minutos, esto ocurre cuando la frecuencia es menor a 0.35 Hz. Bajo estas circunstancias en particular se espera que el personal opere un periodo no mayor a 30 minutos, antes de sentir algún síntoma de mareo.

Región de Reducción de Proficiencia-Fatiga

En la primera parte de la norma, se encuentran las curvas límites de la fatiga y reducción de la proficiencia, con un rango de análisis de 1 hasta 80 Hz. Normalmente el ser humano tolera rangos mayores de frecuencia, provenientes de fuentes vibratorias de tipo continuo, en periodos de tiempo más largos. Sin embargo, el estar expuesto por periodos largos a un movimiento oscilatorio, produce un efecto directo en la proficiencia del personal, aumenta la fatiga y disminuye la eficiencia en las tareas que realiza la tripulación.

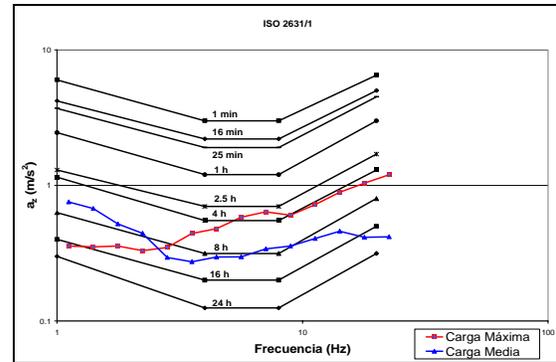


Figura 11. Curvas de límites de Reducción de Proficiencia-Fatiga, ISO 2631/1, [9].

Como se ve en la figura 11, la curva de máxima carga tiene una pendiente positiva y va incrementándose en forma proporcional a la frecuencia; sin embargo su crecimiento no llega a rebasar el límite de las 4 horas. En cambio en la condición de Carga Media, el comportamiento se ajusta más a lo que establece la norma, observándose que la mayor aceleración se aparece cuando la frecuencia es igual a 1.115 Hz e indica que el tiempo de exposición en esta condición es de 8 horas. Las normas ISO 2631, permiten evaluar la reducción de la proficiencia, en base al tiempo de exposición a una vibración oscilatoria específica pero no la cantidad de personas que sufren estos efectos. Para ello existen las normas BS 6841, que utilizan modelos matemáticos que permiten predecir, con cierto grado de exactitud, la cantidad de personas que llegan a vomitar. El porcentaje de las personas que experimentaron el vómito, durante la primera navegación, comparado con el valor que establece la norma BS 6841 es ligeramente menor, con una diferencia porcentual del 2.72%. Caso contrario sucedió en la segunda navegación, en teoría, el porcentaje de incidencia de mareo tuvo que ser del 10% pero el reportado fue del 1.82% dando una diferencia porcentual del 8.18%. Pudiendo ser una causa de esta disminución, la adaptabilidad que experimentó la tripulación durante los días de navegación.

7. Referencias

- [1]. Meter, J. Mantle, Air Cushion Craft Development, DTNSRDC-80/012, January 1980.
- [2]. American Society of Naval Engineers, Naval Engineers Journal, Vol. 97. No. 2, February 1985, pp 83-111.
- [3]. Apache Software Foundations, SPSS 13.0 Version for Windows, 2004
- [4]. Bhattacharyya, Rameswar, Dynamics of Marine Vehicles. Ocean Engineering, John Wiley & Sons, Inc., June 1978.
- [5]. Dobie, Thomas, G., M.D., Critical Significance of Human Factors in Ship Design. Proceedings of the 2003 RVOC Meeting, University of Minnesota, 8-10 October, 2003.
- [6]. Haupt, Kelly, High-Speed Craft Motions: a Case Study. Naval Surface Warfare Center, Carderock Division, April 1996.
- [7]. Instituto Oceanográfico de la Armada, Escala Beaufort. Armada del Ecuador, Mayo 2002.
- [8]. International Towing Tank Conference, Testing and Extrapolation Methods High Speed Marine Vehicles, Excerpt of ISO 2631, Seasickness and Fatigue, 1-5 pgs., 1999.
- [9]. International Organization for Standardization, ISO 2631, Human Response to Whole Body Vibration standard, 1989.
- [10]. Karon, Stuart, Easy Plot, Version 4.0.4, 32 bit-exec., Spiral Software & MIT, Copyright 1989-1999.
- [11]. March, Roberth, Palo, Paul, Dr., Lightridge Seasickness Parametric Study, Naval Facilities Engineering Service Center, December 1998.
- [12]. Neuhoff, R., Technical Manual PL41V, Marine Navigation System, Part 1, Description, Lites-Frieberg-W. Germany, 1982.
- [13]. Omega, DaqEZ ® Professional, Version 1.17, 2000.
- [14]. Press, H. William, Flannery, P. Brian, Teukolsky, A. Saul, Vetterling, T. William, Numerical Recipes, The Art of Scientific Computing (Fortran Version), Cambridge University Press, Cambridge, Port Chester, 1989.
- [15]. Samson, C. Stevens, Parsons, Michael, G., Effects of Motion at Sea on Crew Performance: A Survey, Marine Technology, SNAME, Vol. 39, No. 1, January 2002, pp. 29-47.
- [16]. Savitsky, Daniel, Brown, P., y, Ward, Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water, Marine Technology, SNAME, October 1976.
- [17]. Serridge, Mark, y, Torben, R. Licht, Piezoelectric Accelerometer and Vibration Preamplifier Handbook, Bruel & Kjaer, October 1986.

[18]. Techet, A.H., Prof, Design Principles for Ocean Vehicles, Notes of Class 13.42, Spring, MIT, 2005.

[19]. Thomson, T., William, Teoría de Vibraciones, Aplicaciones, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, 1981.

8. Conclusiones y Recomendaciones

En el presente trabajo se desarrolló una metodología para realizar mediciones a bordo de una Corbeta Misilera, empleando dispositivos de medición propios del buque y proporcionados por la Facultad de Marítima. De la experiencia acumulada se concluyó lo siguiente:

El cálculo de los Espectros de Energía y aceleración de la respuesta mediante el uso de programas computacionales simplifica considerablemente el tiempo de trabajo facilitando el análisis permitiendo establecer los rangos de frecuencia donde se concentra la máxima energía de la respuesta. En las figuras 16 y 17 se observa que la frecuencia de máxima energía de ambas respuestas está próxima a las frecuencias de encuentro de los espectros de ola respectivos. Esto es lógico debido a que normalmente el cuerpo que es acelerado por una fuente oscilatoria como es el mar, tiende a oscilar a una frecuencia parecida a la frecuencia de excitación. En ninguna de las dos condiciones de carga se presenta zonas de resonancia, a pesar que las frecuencias naturales del Levantamiento están próximas al de las respuestas. Si cualquiera de las condiciones aumentase como velocidad de avance o estado de mar es muy posible que el buque entre en una situación resonante, aumentando la respuesta a niveles elevados produciendo una degradación en el estado del personal.

Las encuestas hechas al personal de tripulación durante las pruebas efectuadas en el periodo de navegación comprendido desde el 25 al 30 de junio del 2007, han permitido establecer el porcentaje de incidencia al mareo (MSI), en función a cada condición de carga y estado de mar, cuyos resultados no sobrepasan el 10% de las personas que experimentan el vómito. En un rango de frecuencia de 0.1 a 1Hz, como se muestra en la tabla 20. Durante la primera prueba realizada el día 27 de junio, el buque tenía un desplazamiento aproximado de 750 toneladas equivalente a Máxima Carga, y con un Estado de Mar 4. El porcentaje de vómito (MSI) registrado fue del 7.28% con una aceleración promedio vertical de 0.29 gravedades, que es mucho mayor

al 0.13 gravedades registradas durante la segunda prueba, cuando el buque se encontraba a Media Carga, el MSI fue de 1.82%. Esta diferencia entre los porcentajes de incidencia al mareo, no solo se debe al decrecimiento en la intensidad del oleaje y el viento, haciendo que la respuesta decrezca, sino a la adaptabilidad alcanzada por la tripulación, como se muestra en la figura 26. Si una persona se somete a un movimiento oscilatorio continuo en periodos largos de exposición tiende a habituarse al mismo de tal forma que los posibles síntomas de mareo o vómito que se manifiestan en un inicio desaparecerán conforme pasa el tiempo.

Los Estándares Internacionales como ISO (“Internacional Standard Organization”) y BS (“British Standard”) establecen normas empleando modelos matemáticos que ayudan a predecir los índices de mareo y fatiga con cierto grado de confiabilidad, basados en experimentaciones y datos históricos en los cuales no se consideran los factores que intervienen en el mareo en su totalidad, uno de ellos es la adaptabilidad, como se muestra en la quinta columna de la tabla 20, los porcentajes MSI según las encuestas disminuyeron de un 7.28% a 1.82%, es decir que en tan solo dos días de navegación el personal adquirió un nivel de adaptabilidad adecuado para la navegación. Por estas circunstancias el porcentaje de vómito se redujo considerablemente. También en la tabla de la referencia, en la cuarta columna, se muestran los porcentajes teóricos del MSI según el BS 6841, y para la primera condición existe una correlación aceptable entre el MSI teórico y

encuestado, apenas una diferencia del 2.72%, caso contrario ocurre con los índices de la segunda prueba, con la diferencia porcentual de 8.18%, es obvio que el modelo no considera el factor de adaptabilidad en sus formulaciones.

Se recomienda gestionar la adquisición de nuevos equipos y sensores de medición para optimizar y mejorar los procesos de medición del comportamiento de embarcaciones, indispensable para complementar la instrucción teórica recibida en esta Institución. Asegurando el éxito de futuras mediciones a bordo de cualquier unidad sea naval o tipo comercial.

Se debe implementar un algoritmo para filtrar las señales eléctricas de baja y alta frecuencia, recopiladas por los acelerómetros e inclinómetros durante los procesos de medición para eliminar señales espurias como estática, variaciones de voltaje, etc.

En base a la información aquí presentada, y con ayuda del Convenio Armada-Espol, se debe programar la realización de futuras mediciones, utilizando como dispositivo principal de medición la Plataforma Inercial PL 41, para avalizar la información recopilada por los sensores de la Facultad de Marítima.

Es importante complementar la educación con el entrenamiento y trabajo en campo mediante la capacitación del alumnado en lo que respecta a la recopilación, organización, procesamiento y ejecución de datos y procesos de medición.