

## METODOLOGIA DE MEDICIONES DE RUIDOS A BORDO DE BUQUES MERCANTES

PACK: 43.50.-Lj; Fuentes de ruido de medios de transporte: aéreo, rodado, ferrocarril y marino.

Hernández Molina Ricardo; Cueto Ancela José Luis; González Muñoz, Victoria  
Laboratorio de Acústica y Vibraciones. Universidad de Cádiz.  
CASEM. Polígono Río San Pedro. 11515. Puerto Real. Cádiz.

### NOISE ON BOARD SHIPS.

The problem of noise aboard ships is presently studied in various countries in order not only to define criteria for comfort but mainly to limit the risks of reduction of ear capacity of the crew. It is necessary to recall that, it is not yet possible to develop, for all cases, a method permitting an appropriate predetermination of the noise level into account the type of structure and the sources of noise and vibration which will be present in operation<sub>1</sub>. The purpose of this paper is to report the noise measurement performed onboard the **AESA PUERTO REAL C/79 FINNEAGLE** during the sea trials on 29-31 May 1999.

### INTRODUCCION:

El problema de los niveles de ruido en los buques constituye, desde hace ya algún tiempo, una materia de investigación de gran importancia para la práctica totalidad de las sociedades de clasificación y centros especializados en el control del ruido y de las vibraciones. Prueba de ello son las numerosas recomendaciones (cada vez más restrictivas) que casi todos los países están publicando.

Esta tendencia a exigir limitaciones de los niveles de ruido en los diferentes compartimentos del buque se caracteriza actualmente por la adopción de medidas reductoras tanto a través de la estructura como por la vía aérea. Medidas que basadas en análisis y cálculos acústicos específicos durante la fase de proyecto, han derivado en los métodos de predicción que dependiendo de los parámetros de entrada tales como: transmisión a través de la estructura, amortiguamiento, características de las diversas fuentes, aislamientos de los distintos locales, etc. permiten obtener resultados cada vez más fiables.

Las principales fuentes que dan origen al problema del ruido a bordo de un buque básicamente son las siguientes: sistemas de los motores principal y auxiliar, hélice, guardacalor y sistemas de escape, bombas diversas, compresores, sistemas hidráulicos, servicios de ventilación y aire acondicionado. A estas fuentes habría que añadir el sonido transmitido por la estructura, entendiéndose como tal a las vibraciones estructurales de la gama de frecuencia de 16.000 a 20.000 Hz. Estas vibraciones se acoplan bien con el agua y con el aire y por tanto irradian un ruido audible a estos medios<sub>2</sub>.

Una vez que el buque está ya construido, existe un procedimiento para poder conocer el nivel de ruido existente en los diferentes locales del buque y comprobar si se ajustan a los límites exigidos por las diversas recomendaciones. En este sentido se toman como referencia las publicadas por la Organización Marítima Internacional (O.M.I.)<sub>3</sub>, aunque dependiendo del País, éste puede exigir límites aún más restrictivos.

Básicamente el método consiste en realizar mediciones de los niveles de ruido en dB(A), como lo especifican todas las reglamentaciones y a continuación comparar el resultado obtenido con los niveles establecidos. Dada las limitaciones de información que nos proporciona éste método, se recomienda efectuar mediciones con filtros de



octava y reflejar el espectro obtenido en las curvas ISO de valoración<sub>4</sub> para poder obtener la cifra NR.

En este trabajo se pretende dar a conocer los resultados obtenidos en las mediciones efectuadas durante las pruebas de mar de la construcción **C/79 FINNEAGLE** empleando el método recomendado por la OMI y siguiendo lo expuesto en la norma ISO 2923-75(E)<sub>5</sub>. Dicha construcción se trata de un buque para el transporte de vehículos y pasajeros denominado Ro-Pax-Ferry y construido recientemente en la factoría de los Astilleros Españoles de Puerto Real (Cádiz).

#### PROTOCOLO DE MEDICIÓN Y CURVAS NR.

Al terminar la construcción del buque, se miden los niveles acústicos en los espacios requeridos, tanto en condiciones del buque operando en la mar, como en puerto. En las condiciones operacionales en la mar, las mediciones se deben realizar tanto en la condición de carga como en la de lastre. Estas mediciones se llevan a cabo con las máquinas principales y auxiliares, los instrumentos de navegación, radar, etc..., funcionando normalmente, tal y como lo estarían en las condiciones de servicio del buque. El Aire acondicionado y el equipo de ventilación deben estar en operación y su capacidad debe corresponder a las condiciones previstas en la fase de proyecto. Las puertas y ventanas deben estar cerradas y abiertas en los lugares donde lo estén normalmente, como por ejemplo en el puente de navegación donde la puerta a sotavento está normalmente abierta. En lo que se refiere al mobiliario, todos los lugares estarán amueblados con todo el equipo necesario.

En las condiciones operacionales en puerto, las mediciones se realizan mientras está funcionando el equipo de manipulación de carga que posea el buque, en las zonas y espacios de alojamiento afectados por dicho funcionamiento. Cuando la medición sea menor de 85 dB(A), solamente estarán presentes las personas que realizan las mediciones.

Antes de poder realizarla hay que preparar el sonómetro para que el valor obtenido sea lo más correcto posible. Se debe calibrar con el calibrador adecuado y determinar el rango de medida. Se ajusta el sonómetro a la modalidad "Slow"(respuesta lenta) y se utilizará un filtro de ponderación A (dB(A)). También se debe determinar el tiempo de integración que no debe ser menor de 30 segundos. Una vez determinados todos los parámetros necesarios se puede proceder a las mediciones.

En los espacios en que se excedan de los límites fijados o bien al objeto de aclarar puntos dudosos se debe determinar el número ISO NR (Noise Rating), según indica las curvas de valoración publicadas en la Norma ISO/R 1996; éstas consisten en una serie de curvas a cada una de las cuales le corresponde un valor NR. El rango de frecuencia va de 31,5 a 8000 Hz. A cada frecuencia le corresponde un nivel de presión sonora expresado en dB y a la intersección de ambos una curva NR. De todos los valores NR, se tomará el mayor de ellos y ese será el NR que corresponde al valor obtenido.

Existe una relación entre el índice NR y el nivel de presión acústica ponderado A y que es admitida para obtener el valor NR partiendo de los medidos en dBA. Esta es la siguiente:

$$L_{dB(A)} = NR + 5$$

Si bien debe emplearse con cierta precaución, ya que a veces la diferencia puede ser menor o incluso nula, dependiendo de las frecuencias dominantes y del valor de la magnitud de la medida efectuada.

#### **PUNTOS DE MEDIDA Y PRECAUCIONES A TENER EN CUENTA**

Existen una serie de precauciones que se deben tener en cuenta a la hora de realizar las mediciones entre las que debemos destacar las siguientes: El viento (que no debe exceder de 4 en la escala beafort), el estado de la mar



(no debe exceder de 3), la lluvia, la profundidad del agua bajo la quilla (no debe ser menor que 3 veces el calado del buque) y la presencia de grandes superficies reflectantes en las cercanías del micrófono, puede afectar negativamente a la medición. También se debe cuidar el ruido procedente de fuentes externas como puede ser el originado por las personas que estén trabajando en ese momento en el buque realizando cualquier tipo de operación. En el caso de que se mida en el exterior se debe utilizar una pantalla antiviento para el micrófono. En los lugares donde hayan mezclas inflamables de gas y aire, no se utilizará el equipo a no ser que esté homologado para este tipo de circunstancia.

En relación con las posiciones de medidas son seleccionadas tal que den una descripción representativa de la situación del ruido en los diferentes locales del buque teniendo en cuenta que en las proximidades de los focos de ruido más importantes deben efectuarse un mayor número de mediciones. Éstas se harán con el micrófono colocado a una altura de entre 1,2 metros y 1,6 sobre la cubierta. Entre dos puntos la distancia no debe ser menor de 2 metros, así mismo en los espacios grandes, que estén desprovistos de máquinas, la distancia intermedia entre puntos no debe exceder de 7 metros. En las bodegas de carga, de grandes dimensiones, no se debe efectuar más de tres mediciones. Hay que tener en cuenta que la distancia de medición no debe ser menor de 0,5 metros desde el límite del espacio.

Normalmente en la práctica totalidad de los buques se suelen definir los siguientes espacios de medición teniendo en cuenta que los límites de los niveles de ruido suelen ser los que se indican en cada caso:

- Cabinas de pasajeros y tripulación	55 dBA	- Puente de navegación.	55 dBA
Espacio de máquinas.	110 dBA	- Espacios públicos	58 dBA
Puestos de servicio.	70 dBA	- Oficinas	60 dBA
Espacios no ocupados habitualmente.	85 dBA	- Áreas de recreo	75 dBA
Cubierta de carga. IMO limit.	85/90 dBA	- Cocina	70 dBA

(En este caso la SMA recomendó 65 dB)

En cada uno de ellos será necesario definir las principales fuentes productoras de ruidos así como las características geométricas del local determinando en cada caso el número de mediciones a llevar a cabo y teniendo en cuenta las precauciones que deben adoptarse.

## APLICACIÓN DEL MÉTODO Y RESULTADOS OBTENIDOS

Durante los días 29 al 31 de mayo de este año, tuvimos la ocasión de aplicar el método descrito a Bordo de un buque del tipo Ro-Pax Ferry durante las pruebas de navegación. Tanto la localización de las mediciones, las condiciones de medición, así como la evaluación de los resultados obtenidos se realizaron conforme a las especificaciones del buque, previamente determinadas entre el armador y los responsables de los Astilleros.

El propósito de estas mediciones era el conocer los niveles de ruido existentes en los diferentes locales y cubiertas del buque, siendo en esta ocasión los puntos de mayor interés, para el armador, los situados en la cámara de máquinas y las cubiertas de carga. En total se designaron 48 puntos de medida repartidos por las cubiertas 1,2,3,4, y 5.

En todos los casos y al objeto de poder efectuar una mejor estimación de los resultados obtenidos en cada una de las mediciones y en función de las características del sonido, se llevó a cabo un análisis para determinar el factor de pico (cuando el ruido era impulsivo), espectro en octava (para determinar las componentes tonales audibles), la distribución estadística a través de los percentiles "Ln" al objeto de determinar la variación del sonido a lo largo del tiempo

A lo largo de las mediciones efectuadas, no se obtuvieron niveles que puedan suponer desviaciones importantes



respecto a los límites fijados en la fase de diseño del buque, lo que confirma la bondad del método predictivo aplicado. Por otro lado, en los locales de las cubiertas analizadas, no se han encontrado características impulsivas o tonales dignas de mención. No obstante en algunos puntos fue necesario aplicar las correcciones oportunas de los niveles obtenidos mediante la aplicación de las curvas de valoración NR, ya que estos valores excedían inicialmente de los límites prefijados.

Estos puntos que inicialmente sobrepasaron los límites permitidos, corresponden a la cubierta dos, en cámara de máquinas (vestuario del personal) y cubiertas de carga 3 y 5 en las proximidades de las unidades extractoras de ventilación.

Los criterios de estimación que se han aplicado los hemos distribuido en cuatro categorías diferentes:

Cuando el punto analizado no excede del valor máximo establecido la evaluación es OK.

Cuando la diferencia es de 5 dB o menos respecto a dicho valor estimamos que es Aceptable

Cuando el nivel obtenido es superior al criterio establecido entre 5 y 10 dB estimamos que la evaluación No es aceptable.

Cuando el punto analizado presenta diferencias de más de 10 dB la evaluación es definida como intolerable.

En los dos últimos casos es necesario la aplicación de técnicas de control que permitan corregir estas desviaciones respecto a los niveles fijados. A continuación se presenta en forma tabulada los resultados obtenidos durante las pruebas de mar tanto en cámara de máquinas como en las cubiertas de carga:

#### THE ENGINE ROOM

Deck/ Point	LEQ A	Limit	31 HZ	63 HZ	125 HZ	250 HZ	500 HZ	1 KHZ	2 KHZ	4 KHZ	8 KHZ	NR	NR Limit	Evaluati on
1/1	101. 79	110	67.7 0	71.4 4	82.1 9	91.6 7	96.6 5	97.1 2	93.6 4	90.3 6	82.2 4			OK
1/2	95.1 9	110	61.0 7	73.1 4	79.0 0	85.1 8	89.2 9	89.6 5	89.9 4	80.0 4	68.7 8			OK
1/3	84.5 4	110	61.9 2	60.7 8	68.4 0	75.3 2	77.3 1	80.5 5	77.7 6	69.6 7	60.1 8			OK
1/4**	82.6 9	110	44.4 5	48.4 8	61.5 2	70.7 4	65.8 0	73.7 5	80.5 6	74.4 8	61.9 6			OK
1/5	102. 78	110	69.6 7	71.4 5	82.4 7	94.4 5	96.7 5	97.4 7	95.1 7	92.8 2	84.9 1			OK
1/6	85.3 6	110	58.9 1	60.6 4	71.7 8	76.7 5	80.3 2	79.6 3	77.0 8	73.4 7	66.4 1			OK
1/7	86.0 0	110	59.4 8	57.8 9	67.9 0	75.1 5	77.7 8	82.3 4	80.0 6	72.4 7	62.2 8			OK
1/8**	66.4 8	110	43.6 4	46.9 8	56.8 0	58.9 0	61.4 0	59.7 2	57.5 6	52.9 6	43.4 5			OK
1/9	68.0 6	85	48.3 4	49.6 4	59.9 0	62.3 2	59.0 3	60.1 4	61.9 5	49.0 9	>30			OK
1/11	68.7 2	85	55.1 1	56.0 0	63.1 4	63.3 9	60.6 6	59.2 5	55.4 2	46.6 7	>30			OK
1/12	73.7 4	85	59.5 5	59.6 5	66.8 4	67.9 6	67.1 5	65.4 4	61.6 2	55.6 8	44.1 7			OK



1/13	75.4 6	85	60.4 9	61.6 8	72.4 0	68.8 2	65.6 0	63.4 2	60.6 9	55.9 0	48.4 1			OK
2/14	78.5 5	85	52.8 7	62.6 9	66.1 9	71.0 6	70.2 6	72.3 5	71.7 4	69.3 5	60.5 8			OK
2/15	68.8 1	70	57.1 4	56.1 0	58.6 3	61.8 2	62.1 3	62.3 2	58.7 6	54.6 1	45.4 3			OK
2/15.bis*	71.7 1	70*	57.3 4	61.2 2	63.4 5	64.0 6	63.4 9	65.7 7	61.4 4	58.2 0	50.7 2	66	65	Acep.
2/15.bis*	73.6 1	70*	63.5 3	59.6 9	67.4 7	68.3 1	65.6 1	63.8 9	59.5 4	51.4 1	41.1 3	70	65	No Acep.
2/16	98.8 0	110	56.3 5	67.0 5	77.3 2	85.5 0	92.3 0	95.1 4	91.5 0	88.0 9	80.4 4			OK
2/16.bis	101. 71	110	58.0 0	72.7 4	83.4 9	90.0 7	94.0 4	97.0 6	94.7 6	93.5 5	87.2 4			OK
2/17	105. 21	110	64.3 4	70.5 2	83.5 2	93.7 8	98.5 8	98.8 0	98.5 4	97.8 3	93.2 1			OK
2/18	84.7 8	85	54.3 4	60.4 9	68.1 6	73.6 7	78.6 6	78.1 0	80.6 2	71.5 0	64.1 0			OK
2/19	79.8 2	110	56.2 4	58.8 1	65.8 7	71.9 3	72.7 4	74.4 1	72.3 0	69.8 4	61.9 6			OK
2/20	103. 93	110	69.1 5	74.5 4	81.7 5	91.5 9	97.8 0	98.1 1	96.6 5	96.4 5	91.5 0			OK
2/21	88.6 8	110	58.0 7	62.3 5	71.0 6	77.0 0	83.1 7	84.8 4	80.1 9	75.7 9	70.5 0			OK
2/22	100. 51	110	69.4 3	81.6 2	86.1 3	93.1 1	94.7 5	95.8 5	91.5 7	84.0 7	74.6 2			OK
2/22.bis	103. 35	110	67.8 4	77.9 4	86.7 4	92.6 5	95.6 6	99.9 4	96.8 8	88.8 4	77.8 5			OK
2/23**	63.1 3	110	>30	44.2 6	53.1 4	57.6 0	59.7 9	53.0 8	47.7 7	>30	>30			OK
2/24**	64.3 8	110	47.6 3	48.5 8	54.8 6	57.6 2	59.0 5	56.6 8	54.6 6	51.1 3	43.1 0			OK
2/25**	55.0 1	110	>30	>30	50.5 4	45.6 2	45.8 0	45.4 7	46.3 9	44.3 5	>30			OK
2/26**	65.0 5	110	>30	47.1 0	59.6 0	57.1 8	58.6 4	57.3 0	55.0 9	49.6 8	>30			OK

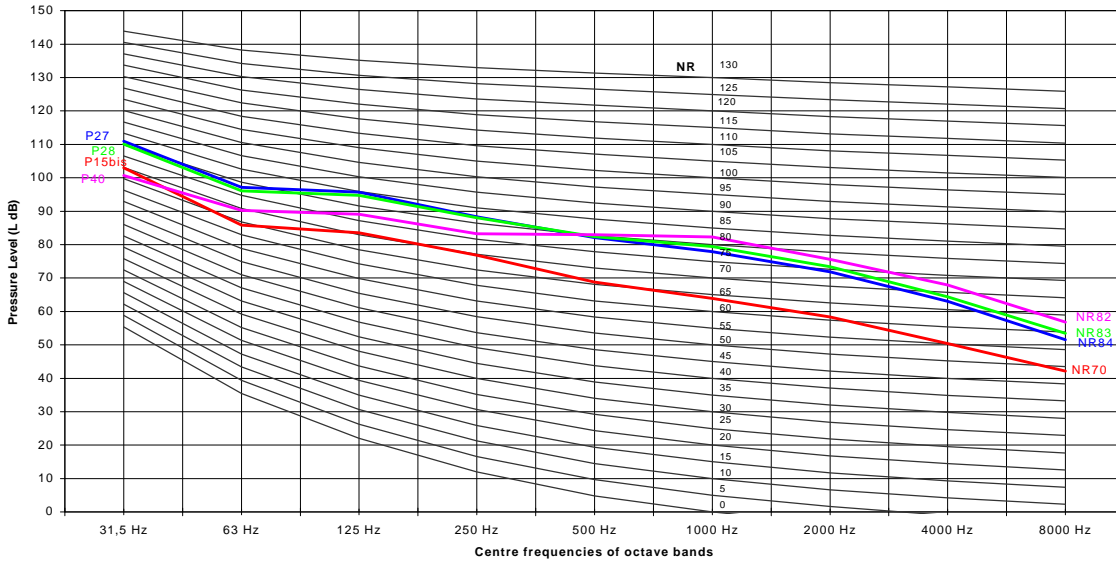
\* These two measures were made at the Men Changing Room. We choose 70 dBA (Control Rooms) as the noise limit of this area.

\*\* These six measures were made out of the real sailing conditions because all the equipments (ventilation included) were stopped.

En las gráficas siguientes se pueden observar, correspondiendo con los puntos conflictivos, su espectro en octavas y la curva de valoración NR.



Noise rating curves



En el caso de las mediciones efectuadas en las cubiertas de carga, correspondientes a las cubiertas 3, 4 y 5 los datos obtenidos quedan reflejados en la siguiente tabla. En este caso sólo se encontraron tres puntos conflictivos (27,28 y 40), sus correspondientes valores NR han quedado reflejados en la gráfica anterior.

THE CARGO DECKS

Deck/Point	LEQA	Limit	31 HZ	63 HZ	125 HZ	250 HZ	500 HZ	1 KHZ	2 KHZ	4 KHZ	8 KHZ	NR	NR Limit	Evaluation
3/27	85.76	85	71.60	70.96	79.61	79.77	78.90	77.88	73.07	64.03	50.47	84	80	Acceptable
3/28	85.86	85	70.70	69.89	78.62	79.41	79.22	79.41	74.55	65.34	52.36	83	80	Acceptable
3/29	81.93	85	71.94	66.52	71.99	74.94	75.71	75.27	71.85	63.43	50.99			
3/30	77.11	85	65.71	63.37	69.29	70.99	69.80	69.10	67.34	60.67	47.36			
3/31	78.83	85	59.90	59.66	70.43	72.74	70.69	71.99	70.84	66.36	55.91			
3/32	82.90	85	62.98	60.87	76.36	74.18	73.14	78.43	74.60	66.22	54.42			
3/33	82.30	85	63.65	60.72	75.64	74.44	72.95	77.63	73.02	66.34	54.46			
3/33.bis	85.13	85	63.62	62.27	79.21	78.41	75.90	78.13	77.07	71.00	59.30			

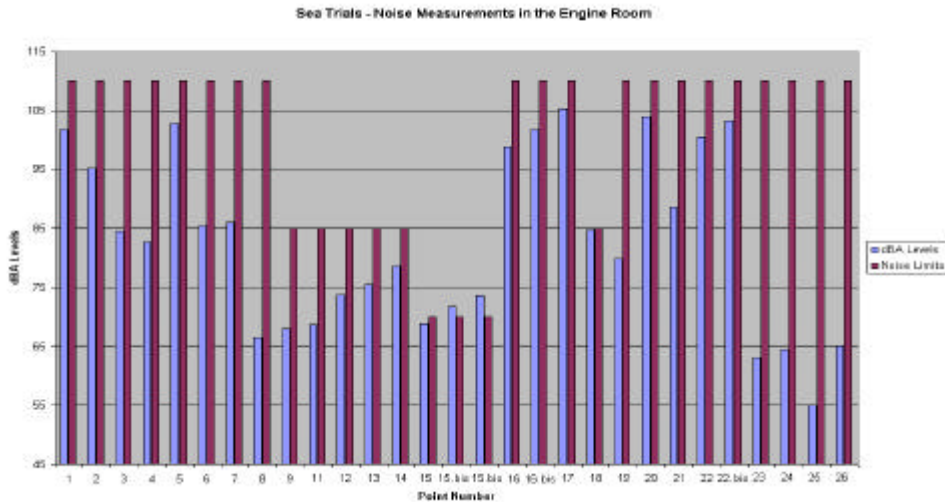
3/34	76.56	85	62.0 1	60.8 1	69.1 0	70.4 8	68.9 1	69.0 2	66.7 3	63.7 7	53.6 5			
3/35	77.18	85	64.2 4	63.7 7	70.7 2	69.3 2	70.4 8	70.4 3	65.9 3	57.4 6	45.0 6			
3/36	83.83	85	68.8 4	65.1 9	78.8 0	75.6 1	77.0 6	76.8 3	72.2 0	64.0 3	52.3 1			
3/37	76.98	85	62.6 7	61.8 2	72.0 4	70.9 1	68.5 2	68.2 4	65.6 2	58.8 4	45.3 4			
4/38*	71.21	110	43.4 5	43.6 9	58.6 1	62.3 9	64.5 6	67.0 8	63.7 6	55.5 3	41.2 7			
5/40	85.74	85	61.2 3	64.0 7	73.0 3	74.7 2	79.7 6	82.2 4	76.7 3	68.8 7	55.7 3	82	80	Acceptable
5/41	82.60	85	57.7 5	63.8 2	72.2 3	71.1 2	76.1 6	78.7 3	74.4 8	65.9 3	52.5 9			
5/42	78.38	85	58.9 5	55.3 4	67.2 0	69.6 3	74.2 2	72.6 1	68.4 1	61.4 6	48.7 7			
5/43	78.54	85	57.4 5	59.5 2	68.2 8	69.7 5	72.6 9	73.7 1	69.8 7	62.1 6	50.1 9			
5/44	81.66	85	54.0 7	55.2 4	70.9 0	70.7 1	76.7 9	76.6 5	73.4 2	66.9 1	57.2 0			
5/45	79.31	85	51.6 0	55.9 8	68.3 1	70.6 2	73.5 2	74.3 6	71.2 9	64.4 3	54.6 0			

\* This measure was made out of the real sailing conditions because all the equipments (ventilation included) were stopped.

Se observa que el único punto conflictivo una vez aplicada las curvas de valoración NR, corresponde al punto 15 bis, éste se encuentra en la cubierta nº1 de Cámara de máquinas y está destinado al vestuario del personal que trabaja allí. La razón por la que encontramos valores superiores a los inicialmente permitidos, se encuentra en que dicho local, cuando se efectuaron las mediciones, no estaba completamente aislado, ya que el barco se encontraba aún sin entregar. Este defecto se subsana instalando el aislamiento que estaba previsto para ese local.

A veces es interesante para una lectura más rápida de los datos obtenidos representar éstos de forma gráfica, de esta manera los ingenieros e inspectores encargados de la comprobación de estas pruebas, pueden localizar rápidamente donde se encuentran las anomalías y por tanto proceder a su corrección. La siguiente gráfica es un ejemplo que corresponde a las mediciones efectuadas en las cubiertas de la cámara de máquinas:





## CONCLUSIONES

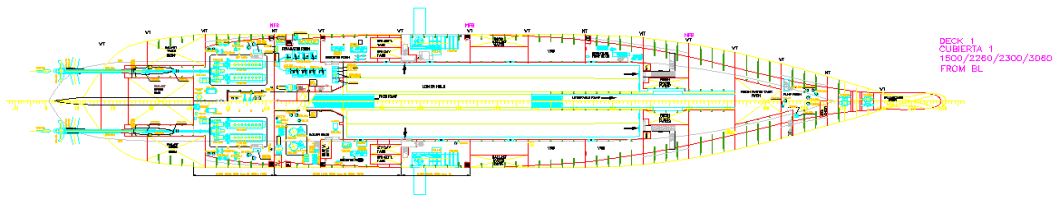
**Con la exposición del método y su aplicación en las mediciones efectuadas a bordo de este barco, hemos pretendido dar a conocer unos ensayos que tienen como objetivo final garantizar que los niveles de ruido a bordo de los buques sean aceptables a fin de proteger la salud de la gente de mar y mantener la seguridad en las operaciones del buque, limitando las interferencias del ruido producido a bordo con las señales acústicas exteriores de navegación.**

Los valores obtenidos deben compararse con los que se dedujeron en la fase de pre-proyecto del buque, a fin de garantizar que el modelo empleado en el análisis predictivo es fiable. Hoy día existen modelos de predicción de ruidos y vibraciones, basados en las teorías de elementos finitos, que junto con programas de diseño asistido, permiten obtener resultados muy próximos a la realidad del comportamiento del buque.

En relación con los límites de valoración, sabemos que actualmente la práctica totalidad de las reglamentaciones nacionales se encuentran en revisión y que la propia Organización Marítima Internacional, está trabajando en un documento que una vez actualizado, será de obligado cumplimiento. Es seguro que dentro de lo técnicamente posible, estos valores sean aún más restrictivos, a fin de garantizar el confort de las tripulaciones. Una de las líneas de trabajo más importantes es sin duda la generación y transmisión estructural de las vibraciones debidas a la interacción casco-hélice, por lo que el diseño de esta última es de suma importancia, ya que puede ser una fuente muy importante de vibraciones que den lugar a efectos indeseables, entre ellos niveles de ruido excesivamente elevados.







#### Referencias Bibliográficas

- 1.- Bureau Veritas: "Noise on board Ships"; Guidance note, NI 174 RD3/CW3; October 1981.
- 2.- Shipboard noise levels prediction and reduction; Revista de información, Mayo 1978
- 3.- Niveles de ruido a bordo de los buques: Código sobre niveles de ruido a bordo de los buques. Resolución A.468 (XII). OMI.
- 4.- ISO Recommendation R1996; Acoustic, Mayo 1971
- 5.- Measurement of noise on board vessels. ISO 2923-1975 (E).

