

PAPER #401

ASIGNACION RACIONAL DEL TRANCBORDO:
UN MEDIO DE MEJORAR UNA FLOTA

Ing. C. E. Fagalde
Universidad Nacional de
Buenos Aires
ARGENTINA

VIII CONGRESS PAN-AMERICAN INSTITUTE
OF NAVAL ENGINEERING
September 11-17, 1983 . WASHINGTON, D. C.
paper 401

RESUMEN

El mencionado trabajo propone un método de determinación analítico que basándose en predicciones de comportamiento del buque en el mar permita obtener fehacientemente el grado de seguridad, utilizando un índice probabilístico, que corresponda al francobordo asignado.

De tal manera conocido el medio ambiente, el servicio del buque y las características del mismo, su condición de carga no se ve afectada por una reserva de flotabilidad innecesaria.

TITLE

A RATIONAL FREEBOARD: A WAY TO OPTIMIZE A FLEET

ABSTRACT

The mentioned work establish a method to determinate analitically the behaviour of the ship in the seaway in order to meet a safety level measured by means of a probability index corresponding to the freeboard assigned.

Then, knowed the environmental conditions, the service and characteristics of the ship, it's load line will not be affected by a excess of buoyancy.

CARACTERIZACION DEL MEDIO

Como queda establecido el propósito del presente trabajo es plantear una serie de consideraciones en el análisis del comportamiento del buque en el mar que nos lleven a componer una herramienta de evaluación del riesgo correspondiente a una determinada operativa del buque.

Por ello el punto de partida es establecer una descripción del medio idónea.

Básicamente se aceptará, entonces, el comportamiento irregular de la superficie del mar, tanto como de la respuesta del buque, en función del tiempo.

Dicho comportamiento irregular, desordenado y arbitrario de amplitud, buque y olas, puede obtenerse como superposición de una elevada cantidad, (realmente tiende a infinito) de movimientos armónicos que actúan como pequeños sumandos (prácticamente infinitesimales) cada uno de ellos con una diferente frecuencia y con una diferencia de fase arbitraria.

Es un hecho establecido que dicha suma de infinitos sumandos (amplitudes) de valor infinitesimal es finita.

En referencia a la mencionada frecuencia, la caracterización del movimiento (del mar y del buque) es la función de densidad espectral es decir el espectro de energía.

Esta representa el cuadrado de cada componente infinitesimal para cada frecuencia y será proporcional, esta función, a la energía contenida en el estado de mar (medio), (o en la respuesta del buque) correspondiente a cada frecuencia.

Por ejemplo un mar de olas no rompientes producto de una basada tormenta o un mar de fondo tendrá un espectro con picos de energía en las frecuencias más bajas, mientras que un mar de rompientes, olas cortas los mismos se situarán en las frecuencias más altas.

El producto de la función de densidad espectral ($S(w)$) y el correspondiente intervalo diferencial de frecuencia dará el valor cuantitativo medio de la amplitud de las olas que se componen con frecuencias que se encuentran dentro de dicho intervalo diferencial.

De esta manera caracterizamos el medio, con el espectro de energía, independientemente de un punto en el espacio y el tiempo, es decir, la región queda caracterizada por el espectro.

Confrontando un planteo como el establecido con datos oceanográficos se ha podido establecer que en un período breve de tiempo los registros de olas se pueden valorar estacionarios y correspondientes a un proceso aleatorio con un espectro de ancho de banda

INTRODUCCION

En este trabajo se intenta presentar un método de estimación del riesgo al embarque de agua sobre cubierta por efecto del oleaje que corresponde a la navegación con un determinado francobordo.

Para ello se ponen de relieve los distintos factores en juego como ser estado de mar, ocaciones de exposición al mismo en función de la ruta a navegar, vida del buque, características de carga y distribución de pesos del mismo y velocidad.

Con esto se arriba a la estimación del riesgo de inmersión de cubierta de francobordo en un análisis a largo plazo de la interacción buque-medio.

De esta manera se intenta obtener un camino de verificación de un francobordo asignado en forma determinística, es decir basado en valores históricos propios del Convenio Internacional de Líneas de Carga 1966.

Este análisis se propone de esta manera en el supuesto de encontrarse el proyecto de un buque, o el caso de un buque existente, frente a la posibilidad de mantener satisfactorias condiciones de resistencia estabilidad y compartimentado aún para condiciones de carga correspondientes a un francobordo menor al que se obtiene habitualmente de la aplicación del ILLC 1966 en función de las características geométricas del buque.

En otras palabras la finalidad del trabajo es pretender encaminar el método que lleve a responder ¿cuál es el riesgo que implica un determinado francobordo? o visto desde otro aspecto ¿en qué medida se incrementa el riesgo a una determinada navegación por el hecho de disminuir un francobordo determinado porcentaje?

da estrecho.

Se puede observar que la configuración de la superficie del agua en cualquier momento sigue una distribución normal y los valores picos de amplitud de ola suficientemente próximos a una distribución de Rayleigh. El parámetro de esta (el cuadrado medio) se obtiene de los registros de ola quedando así valorizado el proceso aleatorio por el área bajo la curva del espectro de energía.

En el propósito de obtener predicciones de respuesta del buque haremos uso de la probabilidad y de la frecuencia. Por ello se busca definir un estado de mar por medio de un espectro valorizado por una probabilidad determinada y luego con las frecuencias definidas en el mismo realizar el análisis de una respuesta. O sea la respuesta queda ligada a la variable frecuencia por medio de

$$\Delta_2(w) = a_z(w) \cdot e^{\frac{1}{2} \Delta_2(w)}$$

llamada función de transferencia que establece una linealidad entre espectros de ola y respuesta del buque.

En esta el valor $a_z(w)$ es la relación entre amplitudes y el aumento $\Delta_2(w)$ nos indica la fase de la respuesta y si realizamos el producto de la función de transferencia por su conjugada obtenemos el cuadrado de la razón de amplitudes lo cual es conocido como operador de amplitudes de respuesta (RAO).

De esta manera una vez que se define el espectro del medio y su probabilidad es posible ligar una determinada respuesta a su correspondiente probabilidad.

Respecto del espectro de mar (input en nuestro análisis) el mismo debería estar caracterizado por 2 variables, altura significativa y período medio. Con ello se obtiene la libertad de variar la configuración del espectro variando el período es decir se puede definir la presentación de un mar totalmente desarrollado de uno de olas cortas.

A lo expuesto cabe agregar tres factores a tener en cuenta, primeramente hay que recordar que cada altura significativa va ligada a un tiempo necesario mínimo de acción del viento para que dicho mar se desarrolle así por ej. para $H_s = 9$ m se requieren 25 horas de acción de un viento de 45 nudos.

Luego que, independientemente de la probabilidad asociada a una, determinada H_s , está la de que a la misma le corresponda una frecuencia dada.

Y por último existe una probabilidad más a tener en cuenta y es aquella que define la dirección de las olas.

La primera influencia en la evaluación del riesgo de exposición ya que para cada tiempo de viaje (T) habrá un número distinto de posibles eventos o pruebas (N_T) a los que se expondrá el buque.

Es decir cada estado de mar para diferenciarse de otro debe tener un tiempo de desarrollo mínimo (T^*) de modo que los estados de mar serán hechos independientes si transcurre T^* .

Por ello el número de ciclos o pruebas de exposición del buque a diferentes mares será N_T obtenido por

$$N_T = \frac{T}{T^*}$$

Es de notar entonces que el T^* será función del lugar y la época notándose que en aguas protegidas es susceptible de ser menos que en mares abiertos.

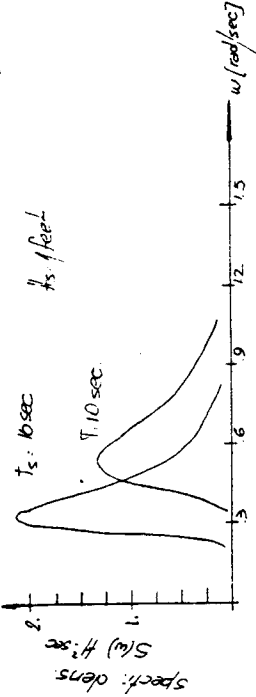
El tercer factor, la direccionalidad de las olas y su incidencia variable en la respuesta del buque se pone de relieve a través de la influencia del timonel y la relación rumbo planeado y dirección mas probable de las olas, es decir los efectos de un estado de mar pueden ser amortiguados por un apropiado cambio de rumbo.

En la evaluación de este último factor intervienen la influencia de fuertes corrientes, la longitud de la zona libre de barrido del viento, (fetcn), el efecto de masa de la costa y el efecto combinado de mar desarrollándose localmente y tormentas alejadas; cualquiera de los antes mencionados afectará entonces, la variación de la distribución de energía a partir de una orientación característica del mar.

Por lo expuesto anteriormente respecto de la representación del medio y de los fenómenos que afectan a la misma la alternativa es elegir una formulación matemática apropiada ante la ausencia de datos de cada área.

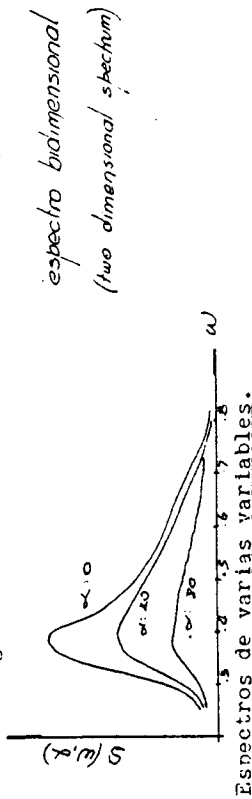
Las opciones aparte del conocido espectro de Pierson-Moskowitz pueden ser:

a) El espectro de Bretschneider que utiliza para el período y la altura de ola una distribución de Rayleigh y define el estado de mar por un período significativo y una altura de ola significativa.

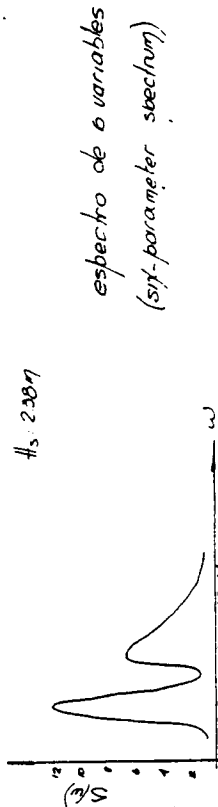


b) Representación de mares completamente desarrollados. En estos se vincula el efecto del viento (en tiempo y suficiente cancha (fetch)) a la altura significativa de ola ejemplo de esto se publica en el *Handbook of Ocean and Underwater Engineering*.

c) Representación de mares de olas cortas. El lo inferior está orientado a mares de olas irregulares y largas una representación más exacta se requiere para el caso de tormentas o huracanes abatiéndose pues a un espectro bidimensional; es decir se define un espectro de energía de ola en términos de frecuencia y dirección.



En estos casos con el propósito de caracterizar más precisamente el evento se discriminan las componentes de la energía en alta y baja frecuencia para cada una de ellas se expresa la altura significativa el período y el parámetro de forma del espectro con esto se obtiene la variación de energía en función de la frecuencia cuando para una altura significativa dada se observan la influencia del viento (duración y área libre) o influencia de tormentas lejanas tal como se presenta en el trabajo de "bubble" on six parameter wave spectra"



Definición de un Umbral de confiabilidad.

Siendo el propósito del trabajo elaborar un medio de evaluación del riesgo que encierra un determinado francobordo desde el punto de vista del embarque de agua sobre cubierta y habiendo resuelto las variables que influyen sobre la definición del medio y si es posible los que un francobordo ("B") es una medida directa de un riesgo ("R") las variables que definen R entonces definirán "B" o sea

$$RB = f(R) \quad \text{y} \quad R = f(\mathcal{V}, N, T)$$

(donde $\mathcal{V}$ = zona del mar, N = número total de exposiciones, T = tiempo de exposición a $\mathcal{V}$) se concluye

$RP = f(\mathcal{V}, T, N)$ es decir un R_{exp} desde este punto de vista (cantidad sobre cubierta) queda definido por las distintas zonas a navegar y la exposición total durante la vida del buque a cada una de esas condiciones.

Debido a que hacemos referencia al riesgo frente a un evento aleatorio (respuesta del buque) debemos encontrar cual es la probabilidad de inmersión.

Para cubrir la información buscada anelamos al dato del RMS del movimiento relativo lo que nos lleva a encontrar la probabilidad condicional de verificar inmersión de cubierta una vez presente el estado de mar ($\mathcal{S}, R_m$) que origina el RMS mencionado.

La probabilidad buscada será entonces

$$P(I) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{R_{\text{exp}}}{R \cdot S \cdot 4} \right)^2 - 2 \left(\frac{R_{\text{exp}}}{R \cdot 1/3} \right)^2} = e$$

En el análisis de esta hay que observar la sensibilidad de $P(I)$ al error en la determinación tanto de R_{exp} como RMS. Se puede verificar por ej. que un error o variación del 10% en estos lleva a una variación del 400% en $P(I)$.

Para una correcta evaluación de $P(I)$ además de lo expuesto corresponde el desglose de los componentes de R_{exp} y $R \cdot 1/3$.

Primeramente por movimiento relativo se interpreta la resultante (R_r) de la suma vectorial entre el movimiento absoluto del buque y la elevación de la onda incidente, es decir es un valor puramente cinemático a esto cabe agregar la suma de efectos no cinemáticos o sea una componente dinámica de oscilaciones de la carena sobre una superficie libre (δ_r) y una contribución de la distorsión de la onda incidente debida a la presencia de la carena en el tren de ondas (δ_r, r).

De manera similar la restante variable de la función $P(w)$, es decir el R_{exp} , es factible de ser desglosado en distintos componentes.

De estos el principal será el R_{exp} propiamente dicho (R_r) distancia de la cubierta de R_{exp} a la flotación de máxima carga. Este variará por efectos de variación de asiento una cantidad δ_{qf} . La influencia del perfil de la onda en proa que origina el buque al avanzar y que por lo tanto afecta a la distancia del mar a la cubierta de R_{exp} , la designamos δ_{2f} .

Finalmente debe ser reflejado el efecto de las formas de las secciones transversales por encima del plano de flotación las que mediante codillo, abanico u otras formas especiales (spray rails)

disminuyen el riesgo de humedad sobre cubierta.

Los 3 primeros términos son medidas lineales ($F_r, \delta_1^F, \delta_2^F$) y el tercero también puede ser asimilado a un incremento (o no) de F .

En resumen la amplitud del movimiento relativo se expresa por

$$r = r_k + \delta_1^F r + \delta_2^F r \quad \text{y el } P(B_0) \text{ por}$$

$$P = r_r + \delta_1^F r + \delta_2^F r + \delta_3^F$$

Con lo expuesto se concluye que una extrema exactitud en la determinación de r y F es imposible. Por ello del análisis de r se desprende que r_k es factible de ser obtenido con los medios actualmente disponibles (scores) y los restantes términos si se desea una precisión mayor es aconsejable apelar a ensayos de modelos y comparación con datos de operación de carenas similares en escala real.

Respecto de F se puede decir que el efecto de si términos δ_1^F y δ_2^F tiende a compensarse y más aun por peso en situaciones de riesgo extremo como las que nos interesan en este análisis es de valor muy relativo. No obstante para un proceso de análisis profundo es recomendable un enfoque similar al de r es decir como δ_1^F ; δ_2^F ; δ_3^F son característicos vinculados a una carena en particular cualquier fórmula de transferencia empírica o semiempírica que pretenda generalizar un proceso de obtención de dichas características no gozará ni de precisión ni del sustento de prolongada experimentación. Por ello es conveniente para las características de carena en análisis ensayar el modelo para distintas orientaciones del tren de ruedas y distintos estado de mar y obtener una función de transferencia en exclusiva para esa carena y con la misma corregir el valor de r_k para obtener r y F para obtener F .

No obstante lo expuesto salvo casos de carenas muy particulares fuera del contexto del análisis de este trabajo se puede, haciendo esta salvedad, adoptar r_k y F como los valores predominantes que definen F y r en la obtención de $P(I)$.

Habiéndose descrito el medio y los modos de definirlo así como la función le permite obtener la probabilidad de inmersión $P(I)$ para un estado de mar dado (H_s, T_m) y siendo nuestro objetivo evaluar el riesgo que implica un determinado $P(B_0)$ cabe completar el análisis encontrando el medio que nos permita definir cuál es la probabilidad de encontrar ese estado de mar (H_s, T_m) durante la vida del buque.

Para ello se debe poner de relieve que el buque navegará por una serie de zonas (γ) definidas cada una por una probabilidad de encontrar un estado de mar determinado (H_s y T_m) así como una dirección predominante de las olas (ϕ) y una direccionalidad de las mismas (α) que indica como se "dispersa" la energía alrededor de esa dirección predominante (ϕ).

Sumado a lo anterior el hecho de que el buque para cada zona adoptará preferentemente un curso determinado (χ) estamos entonces en condiciones de evaluar cuál es la probabilidad de encontrar al menos una vez para una zona determinada γ , el estado de mar H_s, T_m con el rumbo relativo a proa χ (obtenido este con ψ y ϕ) es decir $P(1) (H_s, T_m, \chi/\gamma)$.

Como para cada zona γ existe una distancia a recorrer (S_{γ}) y siendo que el buque avanza a una velocidad media (V) y siendo T_{γ} el tiempo que se estima dura el evento H_s, T_m podemos determinar el número eventos a que se somete el buque (N_{γ}) por $N_{\gamma} = \frac{S_{\gamma}}{V T_{\gamma}}$

Con este último se obtiene la probabilidad de encontrar un estado de mar superior a un máximo estipulado (H_{max}) durante el número de eventos N_{γ} por medio de $P(N_{\gamma}) (H_s > H_{max}/T_{\gamma}) = 1 - (1 - P(1) (H_s > H_{max}/T_{\gamma}))^{N_{\gamma}}$ e integrando para todas las zonas a navegar $P(1) (H_s > H_{max}) = 1 - \left\{ \prod_{\gamma} [1 - P(N_{\gamma}) (H_s > H_{max}/T_{\gamma})] \right\}$ y teniendo en cuenta el total de viajes a realizar por el buque (N) $P(N) (H_s > H_m) = 1 - [1 - P(1) (H_s/H_m)]^N$

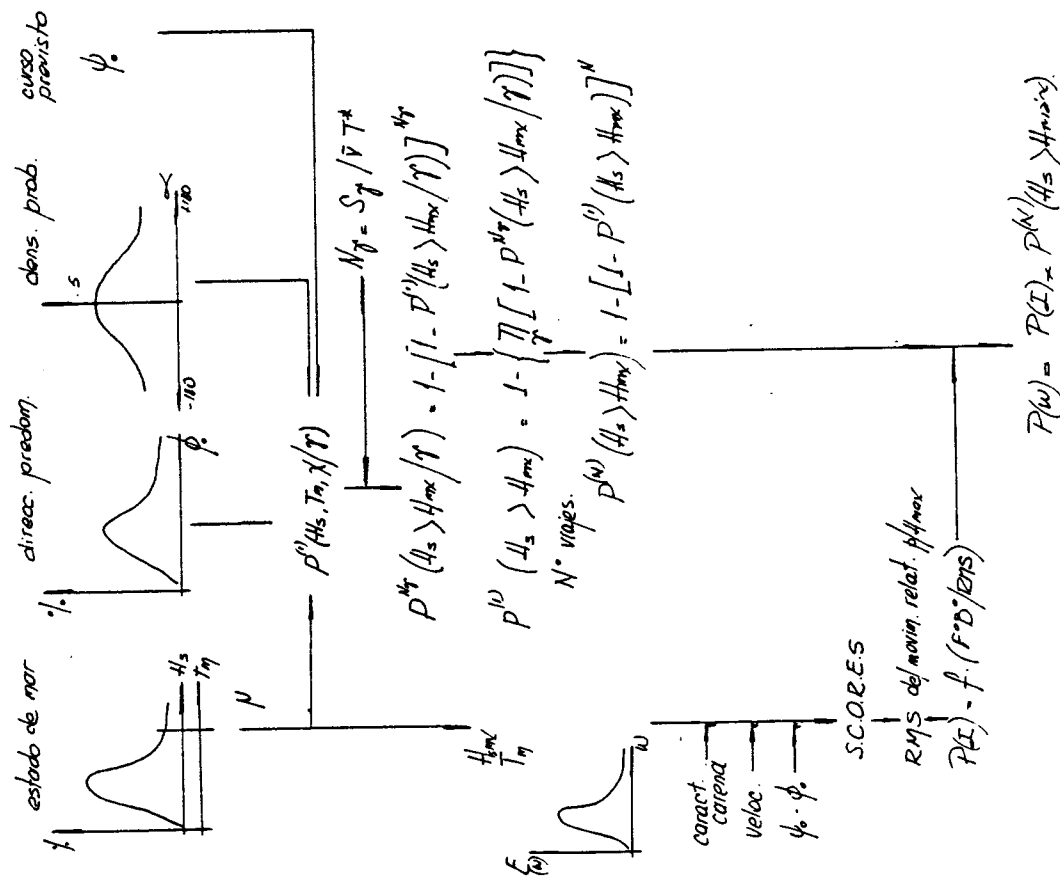
Con esto podemos encontrar la probabilidad total de inmersión de cubierta como

$$P_w = P(I) \times P(N)$$

Es decir si obtenemos una probabilidad de humedad en cubierta que consideramos límite y la misma se da para un RMS que corresponde a un estado de mar definido por parámetros que entonces consideramos máximos (H_{max}, T_{max}) P_w nos dirá de la probabilidad de llegar a encontrar tal humedad en N viajes del buque por las zonas estipuladas y con los cursos adoptados.

En resumen definir un umbral de confiabilidad será evaluar un riesgo inherente a la adopción de un determinado $P(B_0)$ en sección media y para cada uno de los puntos de la cubierta expuesta estanca al mar cuando se mantienen invariables el itinerario y los cursos que la velocidad obteniendo una probabilidad de inmersión de cubierta como medida de ese riesgo.

Umbral de confiabilidad será el valor de P_w que se considere como límite de diseño.



Determinación de la Probabilidad de Humedad en Cubierta.

ANALISIS Y COMPLETOS

Para la obtención de resultados a partir de los cuales sea factible alcanzar conclusiones válidas se ha, primeramente, obtenido la probabilidad $P(H)_{\max}$ de encontrar al menos una vez una altura significativa que se pueda estibar como límite, en este caso se adoptó $H_s = 9,5$ m correspondiente a un estado de mar 7 severo, en diferentes áreas del océano. Seguidamente se ha evaluado en forma aproximada la probabilidad de inmersión de diferentes carenas cuando las mismas se encontraran en una situación de mar como la adoptada como límite.

Para la evaluación de $P(H)_{\text{Hmax}}$ se ha partido de los valores observados indicados en las tablas de Mardsen para las zonas 2, 4 y 50 a estos valores se agregaron los de invierno en Atlántida Norte obtenidos de los TOP LEVEL REQUIREMENTS de la U.S. NAVY.

para cada una de las zonas indicadas se ha obtenido el valor medio (μ) y con éste se aplica la distribución de χ^2 para determinar la probabilidad de encontrar a largo plazo $H > H_{max}$.

La determinación de la probabilidad de encontrar $H > H_{\max}$ en la vida del buque se hace para 1000 eventos es decir 1000 viajes a través de cada una de las zonas lo que correspondería a un buque con 25 años de vida navegando aproximadamente 3 veces por mes.

Para la determinación de la probabilidad de inversión $P(I)$ de la amplia gama de posibles combinaciones de eslora (L), coef. de manga (cb) y calado (T) se ha seleccionado para cada eslora la combinación de L/B, B/T y cb que derivará en la respuesta de mayor valor.

En cuanto a la velocidad se ha adoptado una fija y única de 8 nudos estimándose esta como la más probable de emplear ya que suoga el mínimo necesario para gobernar el timón, no llega a alcanzar el valor de velocidad de servicio reducida por efecto del mar y puede considerarse como velocidad de avance aceptable para condiciones de mar severas.

Complementando lo anterior se obtuvieron las alturas de cubierta por encima de la flotación a máxima carga como resultado de la misma de Franco Bordo más arrufo a partir del Convenio de Líneas de Carga 1966 para buques tipo B, suoniendo el buque sin reducciones al Franco Bordo tabular.

A partir de la determinación de las RMS del movimiento relativo para los datos arriba señalados se obtienen las distintas $P(I)$ para el estado de mar $H_s = 9 \cdot 5$ m.

Con estos valores se evalúa (fig. 1) la variación de $P(I)$ con la esloría. De esto se concluye a) el ILLC no establece alturas de

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ON PREDICTION OF EXTREME VALUES 1972, (OCHI)
- DEVELOPMENT OF RATIONAL SEAKEEPING DESIGN CRITERIA FOR SHIPS AND OTHER FLOATING PLATFORMS 1977, (GIANOTTI)
- MINIMUM FREEBOARD REQUIREMENTS FOR DRY FOREDECKS: A DESIGN PROCEDURE 1979, (N. BALES)
- THE INFLUENCE OF HULL FORM ON SEAKEEPING 1970, (N. BALES)
- EXTREME BEHAVIOUR OF SHIPS IN ROUGH SEAS 1964, (OCHI)
- PROBABILISTIC DESIGN CONCEPTS IN SHIP STRUCTURAL SAFETY AND RELIABILITY 1972, (MANSOUR)
- OPTIMUM FREEBOARD: A CRITICAL REASSESSMENT OF THE BALANCED SHIP CONCEPT 1981, (N. BALES)
- WAVES IRREGULARS 1978, (SENID)
- SEAKEEPING STANDARD SERIES 1975, (LOUKAKIS)
- WAVE STATISTICS FOR THE DESIGN OF SHIPS AND OCEAN STRUCTURES 1978, (OCHI)
- "PROGRAM SCORES - SHIP STRUCTURAL RESPONSE IN WAVES" (RAFF)