UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

HIDRODINAMICA Y NAVEGABILIDAD

TEMA:

MOVIMIENTOS DEL BUQUE

ELABORADO POR:

ESTEFANNY TORRES

8-891-1289

CHAMIR DE LEON

8-893-2121

PROFESOR:

MIGUEL FLORES

FECHA DE ENTREGA

2 DE AGOSTO DE 2019

INDICE

Contenido

INTRODUCCION 3

Especificaciones del Buque 4

Procedimiento 4

Movimientos del Buque 5

A. Aceleraciones 5

B. Graficas de RAOs 9

C. Determinación de los siguientes eventos con una velocidad de servicio de 13.3 nudos: 17

D. Compare, comente y analice los movimientos del buque calculados utilizando las normativas y el uso del Maxsurf. 21

Maniobrabilidad 22

A. Derivadas Hidrodinámicas 22

B. Radio De Giro Y Diámetro Táctico. 23

CONCLUSION 25

INTRODUCCION

Se realizará un análisis de seakeeping por medio del software Maxsurf que predice el comportamiento de una embarcación a diferentes condiciones que pueda presentar el mar cuando está el buque navegando, también veremos en este trabajo parte de los cálculos o parámetros para tener una buena maniobrabilidad, ya que de esta depende su capacidad de desempeño operacional y principalmente aspecto de seguridad. Cuando un buque tiene mayor agilidad en su maniobra este responderá de manera más efectiva cuando está sujeto a climas fuertes. Se realizaran diversas comparaciones en algunos datos obtenidos por medio de la norma de clasificación y los dados por el software Maxsurf, además a partir de los datos obtenidos del programa se realizaran cálculos solicitados por el profesor.

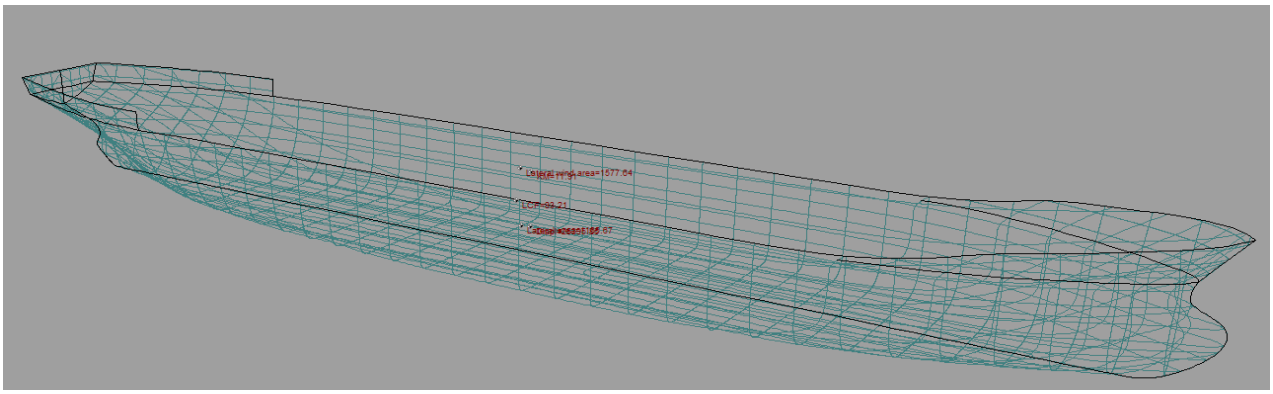
Especificaciones del Buque

- Numero IMO: 9256298
- Nombre: Maersk Kalea
- Tipo de Buque: Oil/Chemical Tanker
- Eslora Total: 168 m
- Eslora Perpendicular: 165.83 m
- Manga: 29 m
- Calado: 9.5 m
- Puntal: 13 m
- Coeficiente de Bloque: 0.8603; Sabiendo que la fórmula de coeficiente de bloque es igual al volumen de carena entre la eslora, manga y calado.
- $C_B = \frac{V\ de\ Carena}{L \times B \times T} = \frac{\rho \times \nabla}{L \times B \times T} = \frac{1.025 \times 38850}{168 \times 29 \times 9.5}$
- $C_B = 0.8603$
- Velocidad: 13.3 kN
- ∇_{SS}: $688.87\ m3$

Procedimiento

Buque en Freeship

Primeramente, para trabajar y calcular lo deseado se debe diseñar el buque con dichas características, se debe buscar el modelo del buque que tenemos en la galería que provee el Freeship, luego de eso ajustamos las dimensiones para luego trabajar con las características del buque que tomamos de referencia.

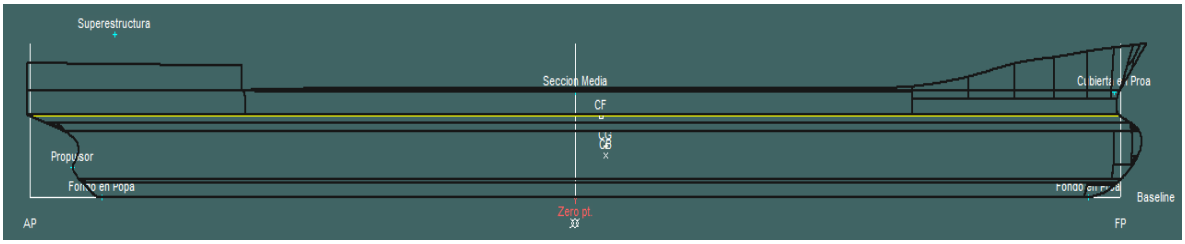


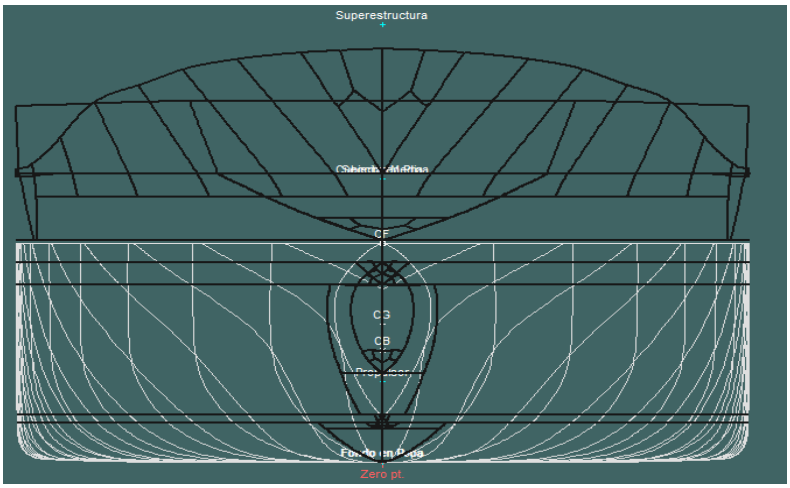
Luego con el software Rhino diseñamos la cubierta del buque para que no tenga acceso de agua. Y con esto lo exportamos a Maxsurf donde encontraremos las gráficas de RAOs.

Movimientos del Buque

A. Aceleraciones

Puntos seleccionados para cada sección:





Coordenadas con respecto a el software serian:

Fondo de Popa	
x	-72
z	0

Superestructura	
x	-70
y	19

Propulsor	
x	-76.40
y	3.50

Sección Media	
x	0
y	4.75

Fondo de Proa	
x	78
z	0

Cubierta en Proa	
x	82
y	12.30

Para La Aceleración Con El Buque Estático
$a_{x1} = \sqrt{a_{su}^2 + [A_p g + \propto_p (z - T_1)]^2}$
$a_{Y1} = 0$
$a_{Z1} = \sqrt{a_H^2 + \propto_p^2 KxL^2}$

Se calcula con ayuda de los movimientos:

MOVIMIENTO	AMPLITUD (rad)	PERIODO (seg)	ACELERACION (rad/s²)
BALANCE (ROLL)	0.22365388	15.6725875	0.03594635
CABECEO (PICTH)	0.08771585	7.4528518	0.06234374
HUNDIMIENTO (YAW)			2.46182433 m/s²

Aceleración Para Cada Sección

- Fondo de Proa

Para La Aceleración Con El Buque Estático
$a_{x1} = 0.5746\,{}^{m}/_{s^2}$
$a_{y1} = 0$
$a_{z1} = 5.3996\,{}^{m}/_{s^2}$

- Propulsor

Para La Aceleración Con El Buque Estático
$a_{x1} = 0.6975\,{}^{m}/_{s^2}$
$a_{y1} = 0$
$a_{z1} = 4.979876\,{}^{m}/_{s^2}$

- Sección Media

Para La Aceleración Con El Buque Estático
$a_{x1} = 1.1494\,{}^{m}/_{s^2}$
$a_{y1} = 0$
$a_{z1} = 0.826757\,{}^{m}/_{s^2}$

- Superestructura

Para La Aceleración Con El Buque Estático
$a_{x1} = 1.536\,{}^{m}/_{s^2}$
$a_{y1} = 0$
$a_{z1} = 3.343359\,{}^{m}/_{s^2}$

- Cubierta de Proa

Para La Aceleración Con El Buque Estático
$a_{x1} = 1.149\, {}^{m}/_{s^2}$
$a_{y1} = 0$
$a_{z1} = 5.3996\, {}^{m}/_{s^2}$

- Fondo de Popa

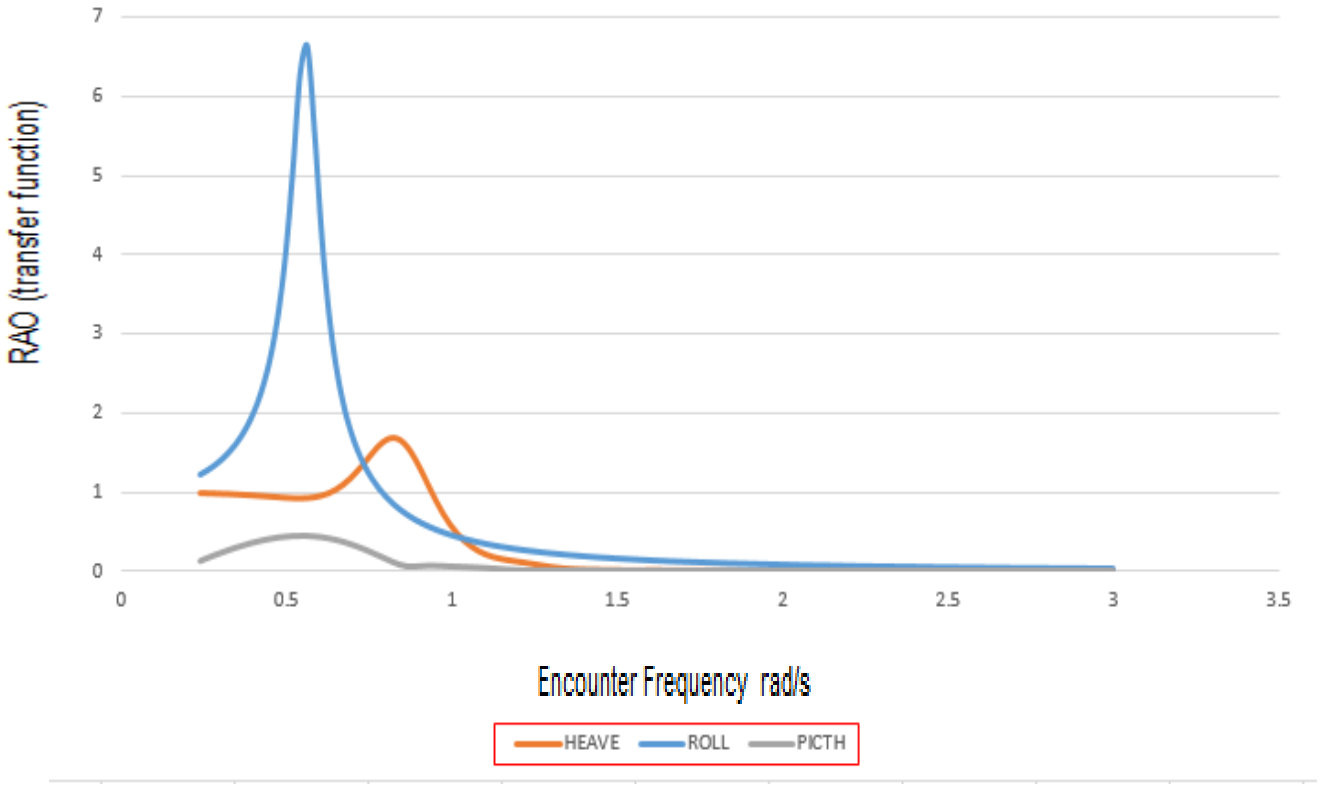
Para La Aceleración Con El Buque Estático
$a_{x1} = 0.5674\, {}^{m}/_{s^2}$
$a_{y1} = 0$
$a_{z1} = 4.934284\, {}^{m}/_{s^2}$

B. Graficas de RAOs

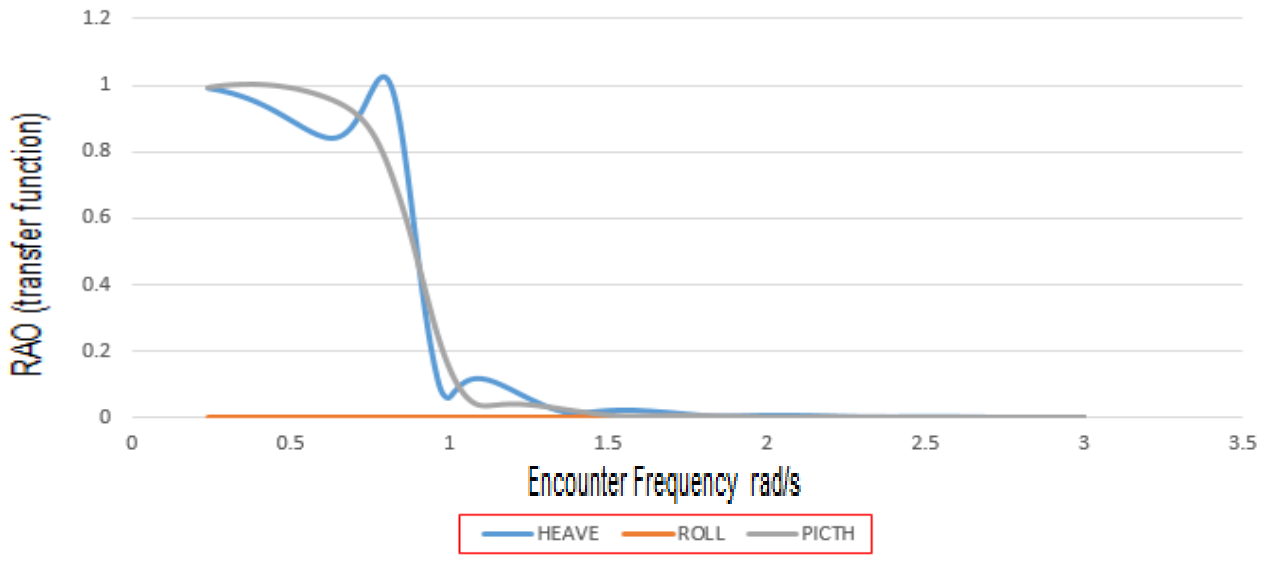
A continuación, veremos el comportamiento de la embarcación en olas regulares conocido como RAOs (operador de amplitud de respuesta). Este es un operador lineal que representa una función de transferencia entrada (ola) y una salida (movimiento) lo podremos ver por medio de los gráficos que presentaremos a continuación.

Para La Velocidad Máxima

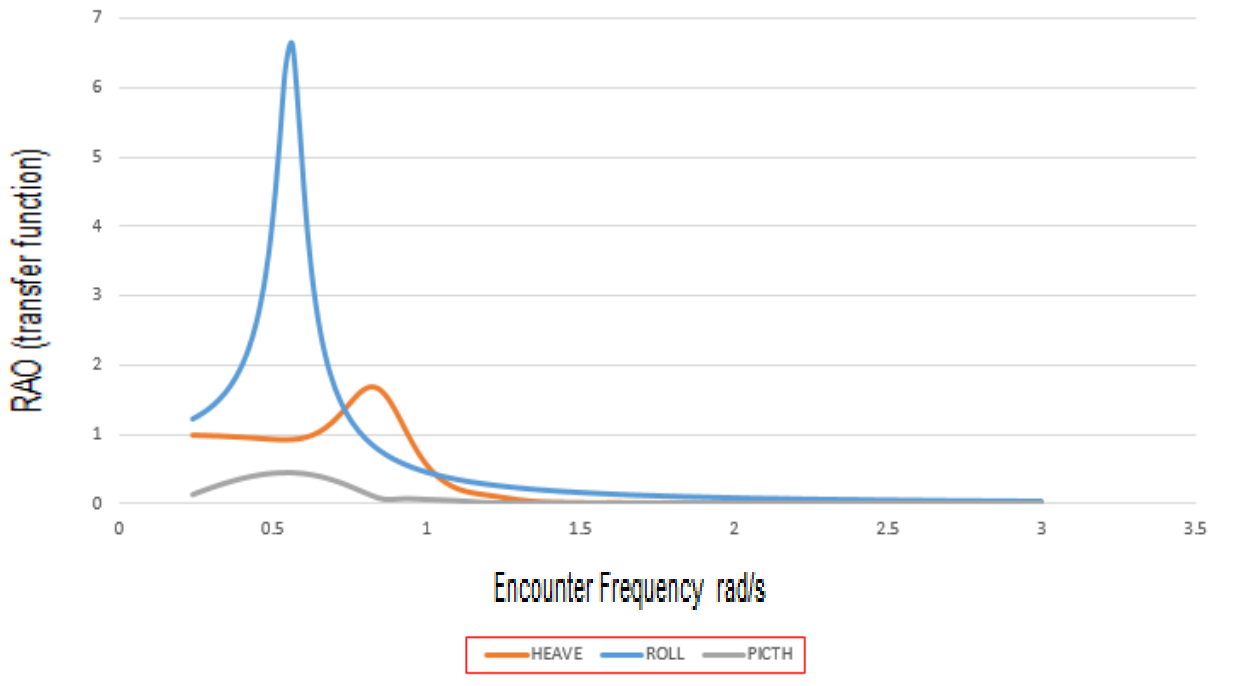
Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 270°



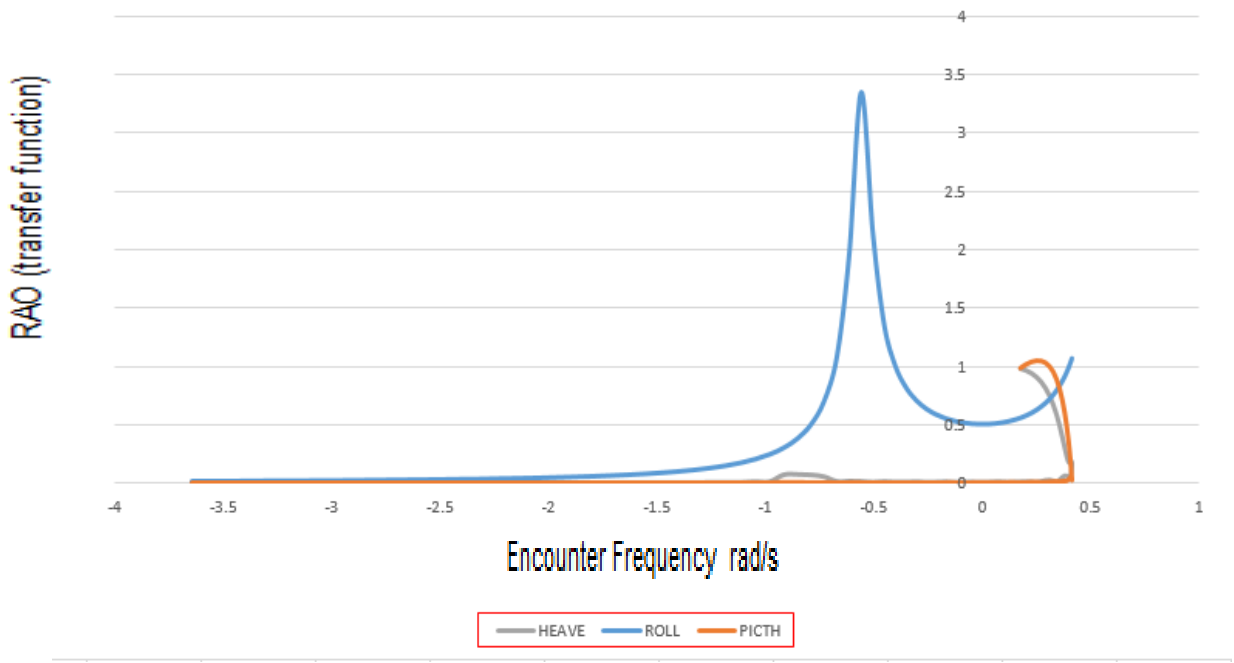
Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 180°



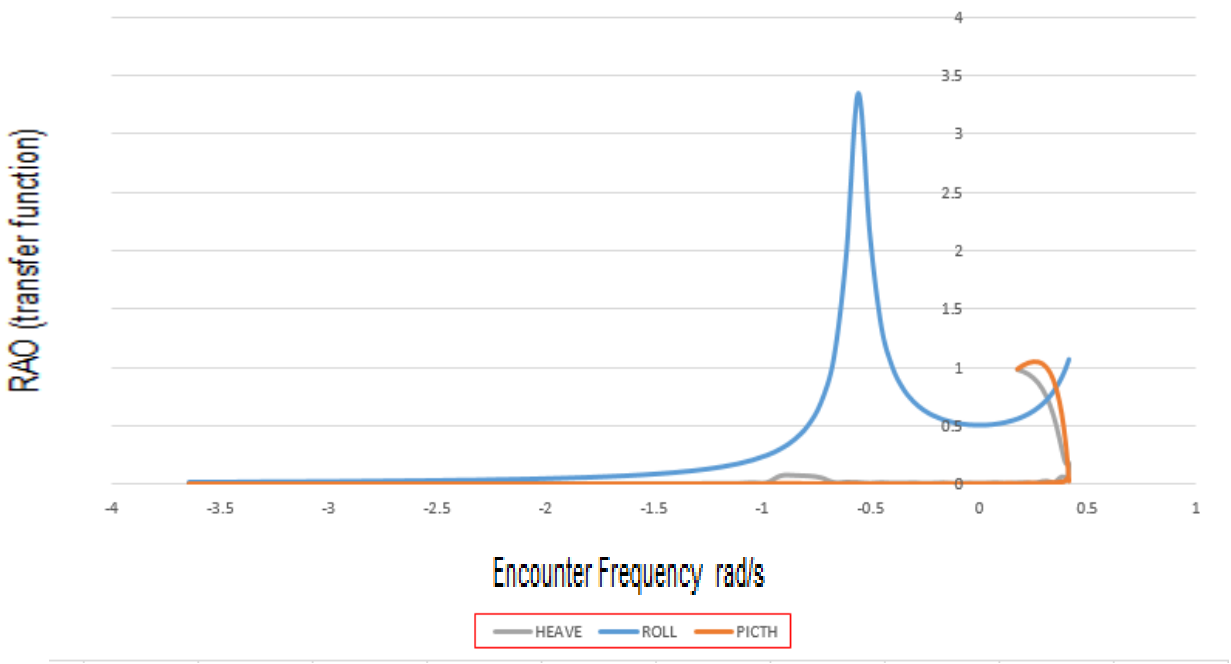
Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 90°



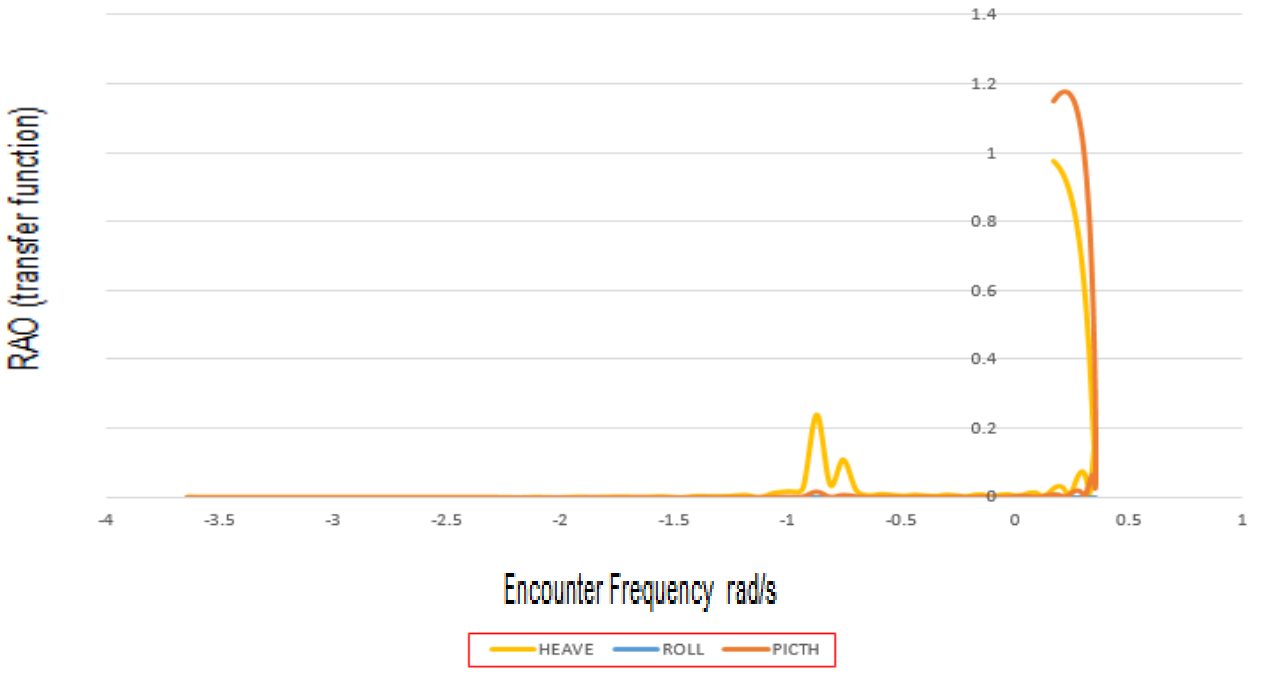
Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 45°



Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 30°

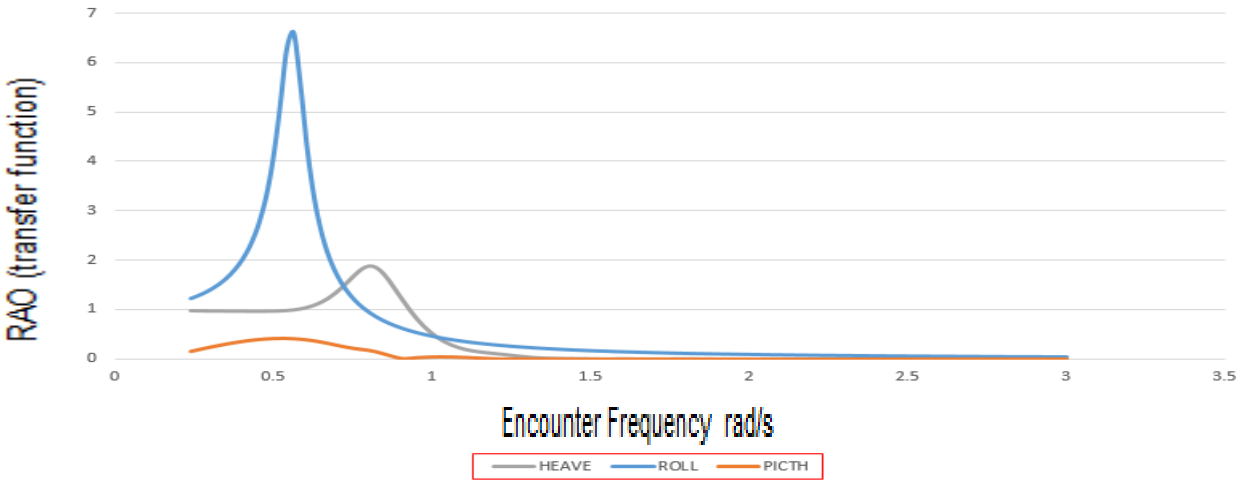


Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 0°

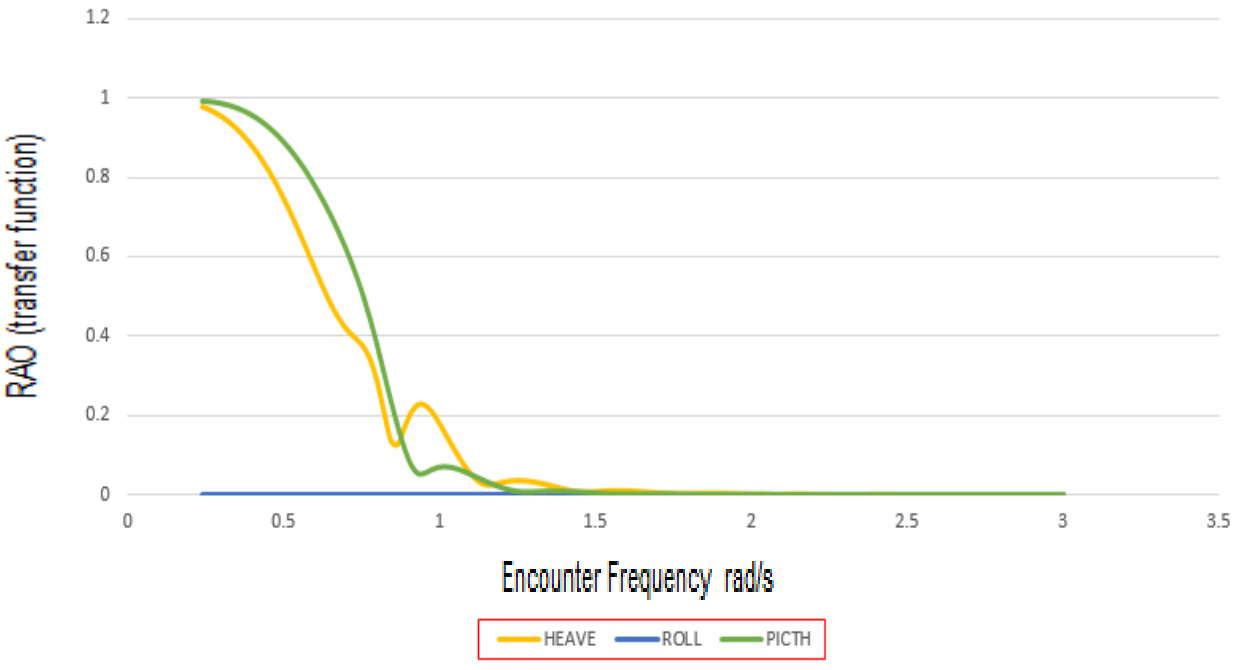


Para La Velocidad Mínima

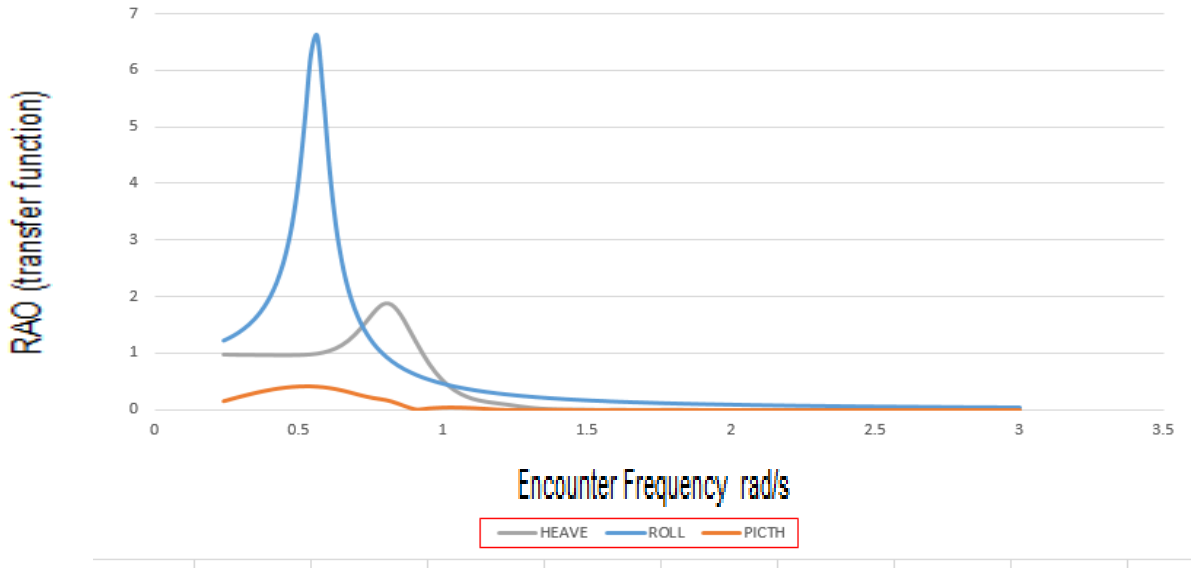
Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 270°



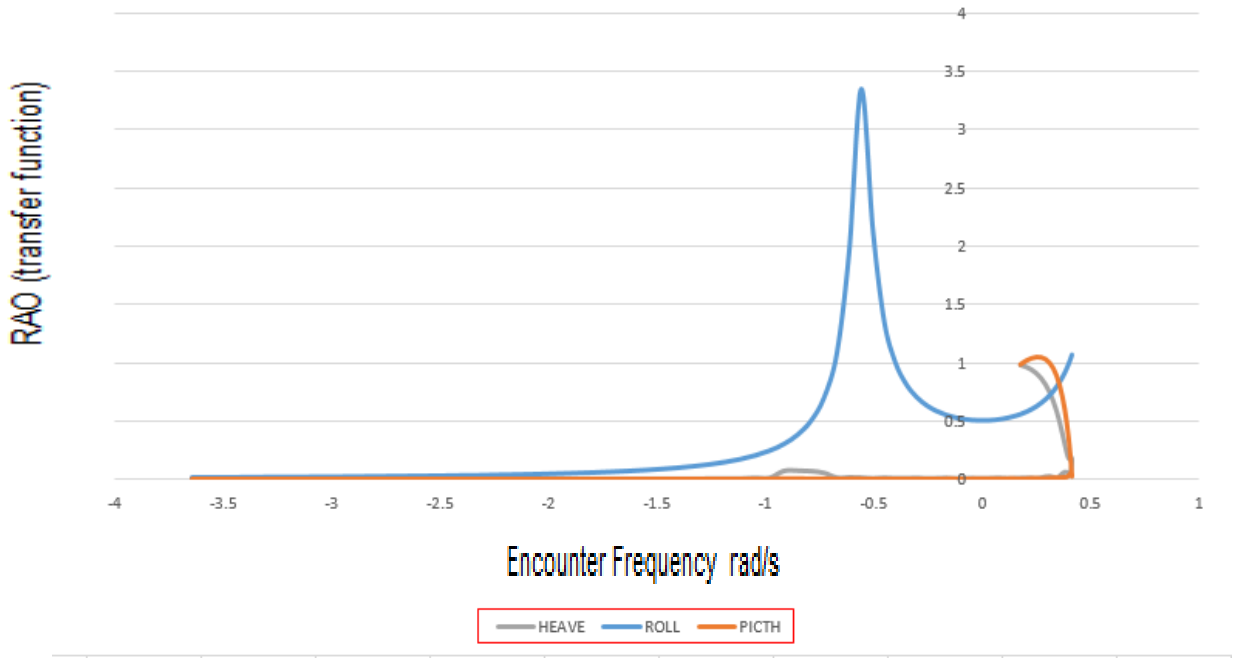
Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 180°



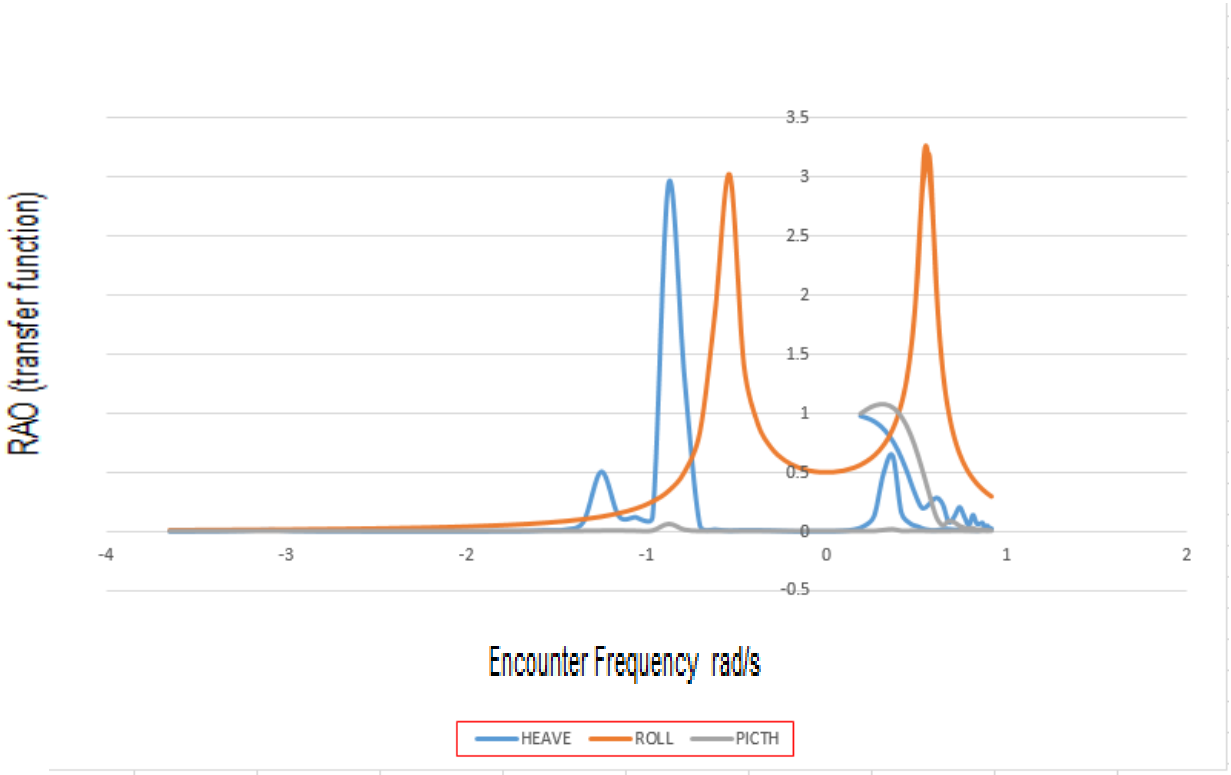
Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 90°



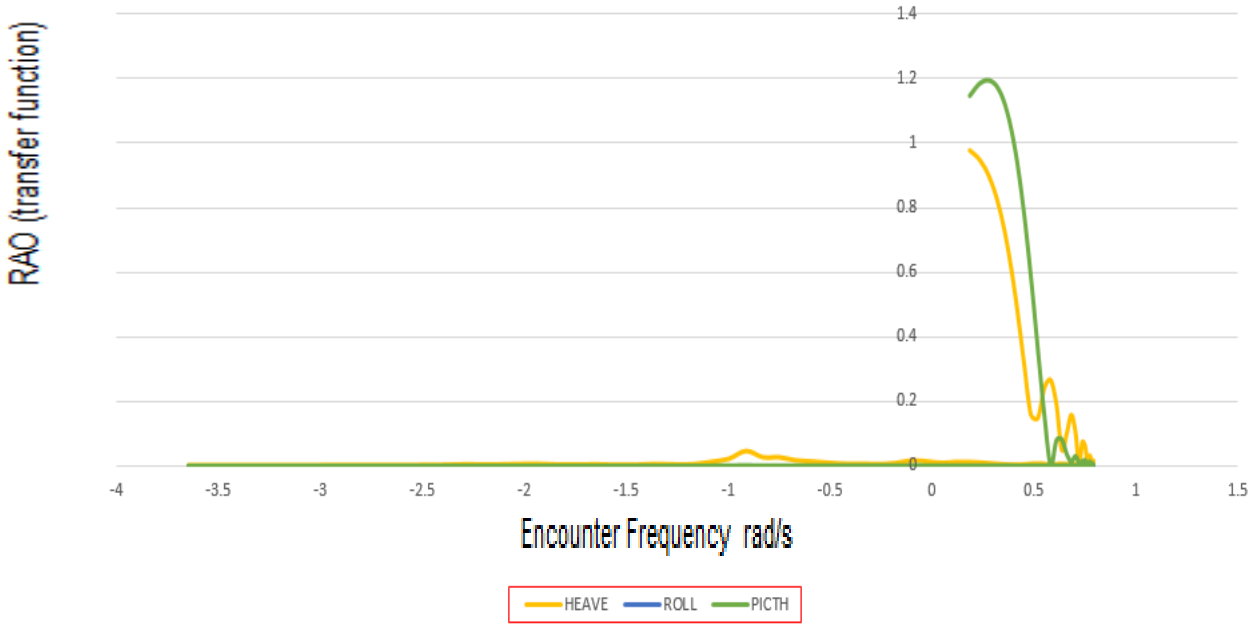
Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 45°



Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 30°



Para un ángulo de encuentro de nuestro buque con las olas de 0°



Análisis de resultados:

Las gráficas de RAOs (operador de amplitud de respuesta) no son más que una función e transferencia entre la fuerza o energía excitadora del movimiento (espectro de ola) y el desplazamiento del movimiento del buque. Las tres curvas de interés son heave, roll y picth las cuales hicimos nuevamente mediante el programa Excel, en los gráficos presentados y detallados se puede observar como el RAO tiende a la unidad para frecuencias bajas y es donde el buque se mueve arriba y abajo con la ola. Para frecuencias altas la respuesta tiende a cero mientras el efecto de muchas olas se cancela a lo largo de la eslora del buque. Normalmente el buque tendrá también un pico mayor que la unidad, lo que ocurre cerca del periodo natural del buque. Ese pico es debido a la resonancia y como vimos mediante los gráficos un valor de RAO mayor a la unidad indica que la respuesta de la embarcación es mayor que la amplitud de la ola. Además de eso el programa arroja muchos datos como lo son:

Mo: es el área debajo de la curva de probabilidad, se utiliza para cálculo de aceleraciones y probabilidades estadísticas.

RMS: es una especie de valor medio cuadrático, es un valor es un valor que se utiliza para hacer gráficos a través de la amplitud.

MSI: es un parámetro de confort tiene % de máximo y mínimo.

C. Determinación de los siguientes eventos con una velocidad de servicio de 13.3 nudos:

Aceleraciones (conforto de la tripulación)

Debemos verificar que las aceleraciones en los puntos de la embarcación como la proa, sección media y superestructura no deben el límite máximo de aceleración del 50% de la aceleración de la gravedad que es 4.095 m/s^2.

Conforto De La Tripulación						
Ángulo De Incidencia	**0º**	**30°**	**45º**	**90º**	**180º**	**270º**
Aceleraciones	**Velocidad De Servicio (13.3 Nudos)**					
Superestructura	0.143	0.207	0.307	1.167	1.167	1.167
Sección Media	0.026	0.042	0.079	0.74	0.74	0.74
Cubierta En Proa	0.164	0.236	0.347	0.578	1.23	1.23

Embarque de agua en la cubierta

La probabilidad de embarque de agua depende de la altura del franco bordo, el límite máximo para este evento según Bhattacharyya es de 5%. Calculado mediante la siguiente formula (datos calculados mediante Excel).

PE=EXP(-(h^2)/(2*m0))

h: altura de borda libre= 3.6 m

m0: variación del movimiento relativo vertical dado por el Maxsurf

Embarque De Agua En La Cubierta						
Ángulo De Incidencia	**0º**	**30°**	**45º**	**90º**	**180º**	**270°**
	Velocidad De Servicio 13.3 Nudos					
Mov. Relativo (M0)	1.492	1.389	1.278	2.04	2.579	2.04
Probabilidad	0.123131	0.105418	0.086706	0.216133	0.297688	0.216133

Inmersión de propulsor

Esta probabilidad es directamente proporcional a la distancia entre la línea de agua y el propulsor y es calculada mediante la siguiente ecuación.

P=EXP(-(d^2/(2*m0)))

d: distancia del propulsor a la línea de agua= 6m

m0: variación del movimiento relativo vertical dado por el Maxsurf

Inmersión Del Propulsor						
Ángulos De Incidencia	**0º**	**30°**	**45º**	**90º**	**180º**	**270°**
Limite 5%	Velocidad De Servicio 13.3 Nudos					
Mov. Relativo (M0)	2	2.102	2.144	1.19	1.011	1.99
Probabilidad De Exceder	0.00012341	0.000190993	0.000226	2.7E-07	1.85E-08	0.000118

Slamming

Conocido también como impacto hidrodinámico ocurre cuando la combinación del desplazamiento y la velocidad vertical son lo suficiente intensos como para la respuesta del movimiento combinado pitch y heave sean amplificados causando un impacto por la entrada de la proa al mar.

Lo calculamos mediante la formula

P =EXP(-(d^2)/(2*m_{od}))*EXP(-(Vcr^2)/(2*m_{ov}))

d= calado de la embarcación en condición de carga

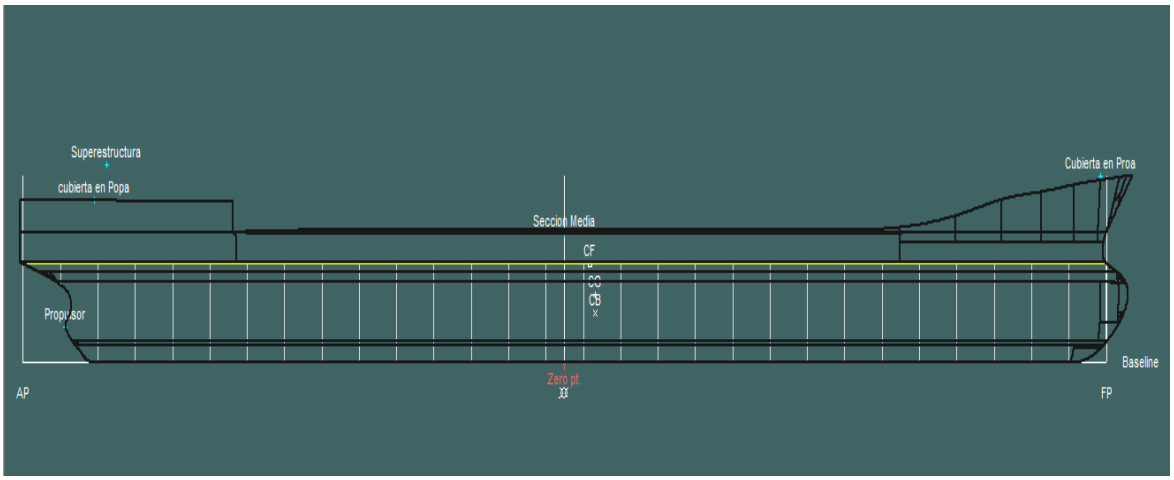
Vcr= velocidad critica dada por la fórmula {0.1* raíz (g*Lpp)}

m_{od}: variación del movimiento relativo de popa

m_{ov}: variación de la Velocidad relativo de popa

Lpp=	165.83
Vcr =	4.0333
T =	7.5

Slamming						
Ángulo De Incidencia	**0º**	**30°**	**45º**	**90º**	**180º**	**270°**
	Velocidad De Servicio 13.3 Nudos					
Mov. Relativo (M0)	1.492	1.389	1.278	2.04	2.579	2.04
Vel. Relativa (M0)	0.535	0.555	0.589	1.515	2.393	1.515
Probabilidad Debe Ser <1%	0.000%	0.000%	0.000%	0.00003%	0.00004%	0.00003%



Análisis de resultados:

Para calcular estos eventos utilizamos las ecuaciones dadas por la norma y utilizamos los valores obtenidos en el análisis de seakeeping los cuales se encuentran bien detalles en cada evento, lo que podemos concluir luego de realizar todos los cálculos es que las probabilidades todas estaban por debajo de los límites de referencia los cuales también están bien detallados en cada evento, y la mayor probabilidad de ocurrencia para un evento fue para embarque de agua en la cubierta esto no quiere decir que sea un mal resultado sino que a comparación de todos los eventos fue el que tuve mayor probabilidad de ocurrir, por lo que se puede concluir que el buque tiene un buen desempeño en el mar y vemos también que el propulsor puede impulsar la embarcación sin problemas hacia la caracteristica de ola de diseño del proyecto. Es muy importante realizar este análisis ya que este nos permite como vimos en los resultados ver el comportamiento previo del buque y esto es de suma importancia en cuanto a la seguridad y operatividad del mismo.

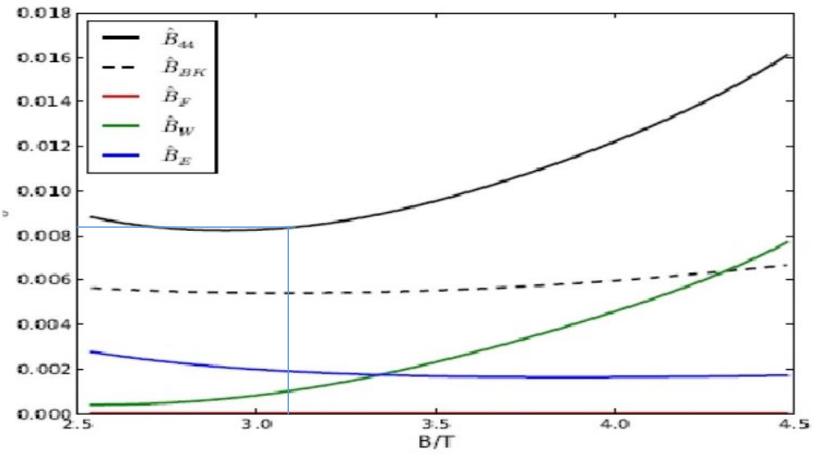
Criterio Para El Centro De Gravedad

Para estimar el centro de gravedad de nuestro buque dividimos el puntal entre 2 para tener una estimación.

$$\mathrm{KG} = \frac{D}{2} = 6.5 \text{ m}$$

Criterio que utilizamos para sacar el coeficiente de amortiguamiento

Para calcular este coeficiente de amortiguamiento para el buque del proyecto utilizamos la relación de calado y manga $\frac{B}{T}=\frac{29}{9.5}=3.0526$ Lo cual se encuentra en el rango de este método que va desde $3.04<\frac{B}{T}>3.8$ y obtuvimos un coeficiente de amortiguamiento de 0.0085 este valor lo leemos por medio del valor de la relación que obtuvimos mediante la siguiente gráfica. Este método es conocido como el método Ikeda.



D. Compare, comente y analice los movimientos del buque calculados utilizando las normativas y el uso del Maxsurf.

SECCION	Ax	Ay	Az
FONDO DE PROA	0.01	0	0.156
SECCION MEDIA	0.015	0	0.026
SUPER ESTRUCTURA	0.028	0	0.143
CUBIERTA EN PROA	0.015	0	0.164
PROPULSOR	0.003	0	0.156
FONDO DE POPA	0.01	0	0.147

Como primer punto solicitado vamos a realizar una comparación entre las aceleraciones obtenidas mediante la norma Bureau Veritas y las aceleraciones obtenidas con el Maxsurf, podemos ver que las aceleraciones son bastantes parecidas en el movimiento de avance e iguales en el movimiento de abatimiento que es con respecto al eje transversal, pero vemos una diferencia significativa en el movimiento de arfada o heave esto a nuestro criterio lo podemos interpretar en dos sentidos el primero sería que la norma no toma en cuenta el calado del buque y por eso vemos esa diferencia y la segunda posible opción es que debiéramos ajustar más los puntos en donde se realiza el análisis.

Como segundo punto podemos comentar que la diferencia entre el análisis que hace la norma para calcular las aceleraciones y el que realiza el Maxsurf es que la normativa utiliza parámetros probabilísticos o estadísticas de como la mayoria de los buques son similares tienden a tener el mismo comportamiento y en base a ese criterio ellos han sacado esas fórmulas probabilísticas de calcular las aceleraciones para así tener una idea del comportamiento, pero en el caso del Maxsurf este utiliza formulas empíricas, fórmulas puramente matemáticas para el cálculo de las aceleraciones es por eso que siempre habrá una diferencia.

Como tercer punto analizaremos el comportamiento del buque comenzando con los resultados obtenidos por la normativa y podemos decir que los valores de aceleraciones son muy razonables en general, y esto es importante ya que si las aceleraciones fueran muy altas provocaría un desconformo en la tripulación y afectaría la operatividad del buque, esto es cuando resultan ser más de la mitad de la aceleración de la gravedad que es 9.81 m/s2, en el eje vertical si vimos que algunas aceleraciones estaban entre 4 y 5 m/s2, pero puede ser tolerable o en caso la queramos ajustar habrá que realizar algunas modificaciones al buque, ahora según el programa Maxsurf todas las aceleraciones obtenidas son aceptables. Lo importante en las aceleraciones es ver si hay mucha o poca variación. Podemos también agregar que cuando una ola incide en el barco dependiendo de donde este el centro de gravedad esas aceleraciones varían, y que cuanto mayor sea el GM mayor serán las aceleraciones en roll.

Maniobrabilidad

A. Derivadas Hidrodinámicas

$$Y_V^* = -fac\ 1\left[1 + 0.4Cb\left(\frac{B}{T}\right)\right]$$

$$Y_R^* = -fac\ 1\left[-0.5 + 2.2\left(\frac{B}{L}\right) - 0.080\left(\frac{B}{T}\right)\right]$$

$$N_V^* = -fac\ 1\left[0.5 + 2.4\left(\frac{T}{L}\right)\right]$$

$$N_R^* = -fac\ 1\left[0.25 + 0.039\left(\frac{B}{T}\right) - 0.56\left(\frac{B}{L}\right)\right]$$

$$\dot{Y_V^*} = -fac\ 1\left[1 + 0.16Cb\left(\frac{B}{T}\right) - 5.1\left(\frac{B}{L}\right)^2\right]$$

$$\dot{Y_R^*} = -fac\ 1\left[0.67\left(\frac{B}{L}\right) - 0.0033\left(\frac{B}{T}\right)^2\right]$$

$$\dot{N_V^*} = -fac\ 1\left[1.1\left(\frac{B}{L}\right) - 0.041\left(\frac{B}{T}\right)\right]$$

$$\dot{N_R^*} = -fac\ 1\left[\frac{1}{12} + 0.017Cb\left(\frac{B}{T}\right) - 0.33\left(\frac{B}{L}\right)\right]$$

Con las derivadas establecidas se dispone a calcular la estabilidad del buque sin pala y con pala.

Donde:

$$fac\ 1 = \pi\left(\frac{T}{L}\right)^2$$

Resultado de las Derivadas	
Yv*	-0.010168908
Yr*	0.003661136
Nr*	-0.002736303
Nv*	-0.006386185
Δ*	0.01357318

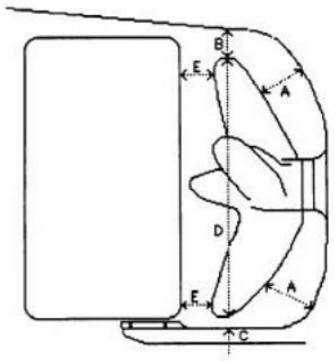
- Sin Pala

$$C = Y_V^* \cdot N_R^* - N_V^*(Y_R^* - \Delta^*)$$

Dando como resultado -3.54749×10^5 es inestable sabiendo que un buque no puede estar sin pala este resultado se esperaba.

❖ Con Pala

Se dispone a sacar las dimensiones de la pala supondremos que el buque cuenta con una sola pala.



Obtenemos el diámetro de la hélice mediante la ecuación $^{2}/_{3}\,T$

Por consiguiente ya obteniendo el diámetro se calcula la dimensión de la pala con las formulas y la sumas de todas obtendremos la altura de la pala y con una relación de $^{6.5}/_{3.25} = d/c$ se calcula la cuerda de la pala y b seria nuestra distancia desde el centro de flotación hasta la mitad de la pala.

Entonces:

C = 3.58 m

d=7.16 m

b=84.92 m

$$C = \left[Y_v^* - C^*_L.A_R^*\right]\left[N_r^* - \left(\frac{b}{L}\right)^2.C^*_L.A_R^*\right] - \left[Y_r^* + \left(\frac{b}{L}\right).C^*_L A_R^* - \Delta^*\right]\left[N_v^* + \left(\frac{b}{L}\right).C^*_L.A^*_R\right]$$

$$C = 2.34435 \times 10^{-5}$$

B. Radio De Giro Y Diámetro Táctico.

Según la OMI el diámetro táctico no debe exceder 5 veces a eslora en la curva de evolución.

Diámetro de Giro

$$D_G = L\left(4.19 - 203 \cdot \frac{C_B}{\theta} + 47.4 \cdot \frac{T_{pp} - T_{PR}}{L_{pp}} - 13 \cdot \frac{B}{L_{pp}} + \frac{194}{\theta} - 35.8 \cdot \frac{A_r}{L_{pp} \cdot T}\right)$$

$$D_G = 552.22389\ m$$

Diámetro Táctico

$$D_T = L_{pp}\left(0.91 \cdot \frac{D_G}{L_{pp}} + 0.234 \cdot \frac{v}{\sqrt{L_{pp}}} + 0.675\right)$$

$$D_T = 654.5387\ m$$

Radio de Giro

$$R_G = D_G/2$$
$$R_G = 276.11\ m$$

CONCLUSION

Luego de terminar el análisis de seakeeping podemos concluir que para un buen diseño de un buque es importante modelar su comportamiento antes de su construcción ya que la predicción de su comportamiento nos dirá si podre efectivamente ser operacional y ante diversas condiciones del mar no verse afectado ni el confort de la tripulación ni la operatividad del mismo.

La interpretación de los gráficos obtenidos nos muestra una clara visión del comportamiento del buque bajas probabilidades en los fenómenos episódicos estudiados lo cual nos indica claramente que nuestra operatividad será buena a pesar de condiciones fuertes de mar.

Como estudiantes este trabajo realizado con mucho, pero mucho esfuerzo nos ha dado un mayor conocimiento en lo que respecta al comportamiento del buque, y parámetros de diseño, ya casi todo lo hemos mencionado en los análisis de cada punto solicitado así que solo seguir ampliando nuestros conocimiento para ser buenos y efectivos ingenieros.