



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – ESTRUCTURAL

ESTUDIO PARAMÉTRICO PARA MINIMIZAR LA RESPUESTA HIDRODINÁMICA
DE PLATAFORMAS MARINAS TIPO SEMISUMERGIBLE.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ERNESTO CISNEROS SOTO

TUTOR PRINCIPAL
DR. FRANCISCO LEONEL SILVA GONZÁLEZ
FACULTAD DE INGENIERIA

CO-ASESOR:
DR. IVÁN FÉLIX GONZÁLEZ
CTEP-IMP

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX. SEPTIEMBRE 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Derechos Reservados

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Sonia Elda Ruíz Gómez
Secretario: Dr. José Alberto Escobar Sánchez
1er. vocal: Dr. Francisco Leonel Silva González
2o. vocal: Dr. Oscar Alfredo Godoy Marroquín
3er. vocal: Dr. Iván Félix González

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Instituto Mexicano del Petróleo

TUTOR DE TESIS:

Dr. Francisco Leonel Silva González

FIRMA

A Natalia, por su inmensa tolerancia, paciencia y apoyo incondicional en todos estos años.

A Renata y Jimena, por su cariño y comprensión.

Agradecimientos

A mi esposa Natalia, por tu respaldo y palabras de aliento en todo momento.

A mis hijas, Renata y Jimena, por demostrarme siempre su cariño y alentarme a concluir.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme utilizar todo su acervo bibliográfico y sus instalaciones como apoyo a mi formación, así como de todo su personal administrativo que siempre brindo el apoyo desinteresado para realizar todos los tramites requeridos y principalmente a todo el personal académico que me formo y compartió su conocimiento y me guío por mi paso en los estudios del posgrado.

A todo el personal del Instituto Mexicano del Petróleo que me brindo el apoyo para alcanzar esta meta.

Al Dr. Iván González Félix, por invitarme a participar en su proyecto de investigación dentro de la Gerencia de Herramientas y Sistemas para Pozos e Instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo, lo que dio pie a desarrollar este trabajo de tesis, por tu apoyo y guía durante el desarrollo del proyecto y de esta tesis, pero sobre todo por tu amistad.

Al Dr. Francisco Leonel Silva González, por su apoyo y ayuda en todo momento, por su guía académica como profesor del posgrado en la UNAM, por tu asesoramiento en los proyectos dentro del Instituto Mexicano del Petróleo, por tu amistad.

Al Dr. Oscar Alfredo Godoy Marroquin, por tus siempre certeros comentarios en todos los temas de conversación, por tus recomendaciones y observaciones a esta tesis, por tu amistad.

A la Dr. Sonia Elda Ruíz Gómez por aceptar ser parte de este proceso de titulación, por sus comentarios y sugerencias a este trabajo que siempre fueron muy importantes.

Al Dr. José Alberto Escobar Sánchez, por aceptar se parte del grupo de sinodales y formar parte de mi proceso de titulación.

Y a todos los familiares y amigos que en el transcurso de estos años de alguna manera u otra me brindaron su apoyo y aliento para seguir y finalmente llegar al final. Gracias.

Declaratoria de autenticidad

Por este conducto declaro que, salvo cuando se haga referencia específica al trabajo de otras personas, el contenido de esta tesis es original y no se ha presentado total o parcialmente para su consideración para cualquier otro título o grado en esta o cualquier otra Universidad. Esta tesis es el resultado de mi propio esfuerzo y no incluye nada que sea el resultado de algún trabajo realizado en colaboración, salvo que se indique específicamente en el texto.

Ernesto Cisneros Soto. Ciudad de México, 2020.

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo fundamental, presentar un procedimiento para minimizar la respuesta hidrodinámica de un sistema flotante de producción (SFP) tipo semisumergible.

En la primera fase de la investigación, descrita en el capítulo dos de esta tesis, se realizó la revisión del estado del arte referente a las metodologías de optimización usadas en el diseño paramétrico de cascos de SFP tipo semisumergible. Otra parte de la indagación bibliográfica se enfocó en la búsqueda de la normatividad que regula el diseño de los SFP.

En el tercer capítulo de este documento, se describe el fundamento teórico que da sustento al presente trabajo. Se inicia con los fundamentos de la mecánica del oleaje, que es una descripción breve de la teoría de oleaje y de las ecuaciones que gobiernan el movimiento de las partículas en un fluido y su interacción con objetos flotantes, haciendo énfasis en el procedimiento para obtener la respuesta hidrodinámica de dichos objetos. Enseguida se describe el análisis dinámico en el dominio de la frecuencia para el cálculo de la respuesta y como calcular el valor más probable de la respuesta máxima de corto plazo de un SFP.

En el cuarto capítulo se describe el procedimiento propuesto para optimizar la respuesta hidrodinámica de SFP tipo semisumergible y las herramientas desarrolladas que coadyuvaron con el diseño del casco del SFP. Para comprobar la funcionalidad del procedimiento, los programas se aplicaron a dos modelos con configuración geométrica distinta y se analizaron los resultados.

En el quinto capítulo se aplica el procedimiento propuesto con las herramientas computacionales a 729 casos de estudio, con el objetivo de verificar la importancia de los parámetros y seleccionar qué configuración geométrica de los 729 casos de estudio que minimiza la mayor parte de las respuestas globales.

Se termina este trabajo con las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones, por ejemplo, aspectos que quedaron pendientes por no ser parte del alcance de este trabajo.

Se incluyeron dos anexos, donde se describen: la matriz de casos de estudio y las tablas de resultados.

Abstract

The main objective of this work is to present a procedure to minimize the hydrodynamic response of a semi-submersible floating production system (SFP).

In the first phase of the research, described in chapter two of this thesis, a review of the state of the art regarding the optimization methodologies used in the parametric design of semi-submersible SFP hulls was carried out. Another part of the bibliographic inquiry focused on the search for the regulations that regulate the design of SFPs.

In the third chapter of this document, the theoretical fundament that supports this work is described. It begins with the fundamentals of wave mechanics, which is a brief description of wave theory and the equations that govern the motion of particles in a fluid and their interaction with floating objects, emphasizing the procedure to obtain the hydrodynamic response of these objects. Next, the dynamic analysis in the frequency domain for the calculation of the response and how to calculate the most probable value of the maximum short-term response of a SFP is described below.

The fourth chapter describes the procedure proposed to optimize the hydrodynamic response of semi-submersible type SFP and the tools developed that contributed to the design of the SFP hull. To verify the functionality of the procedure, the programs were applied to two models with different geometric configuration and the results were analyzed.

In the fifth chapter, the proposed procedure with computational tools is applied to 729 case studies, with the aim of verifying the importance of the parameters and selecting which geometric configuration of the 729 case studies that minimizes most of the global responses.

This work ends with conclusions and recommendations for future research, for example, aspects that were pending because they are not part of the scope of this work.

Two annexes were included, where they are described: the matrix of case studies and the tables of results.

Índice general

Índice de figuras.....	XVII
Índice de tablas	XX
1. Generalidades	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Alcances.....	3
1.4 Organización del trabajo	3
2. Introducción	5
2.1 Revisión bibliográfica.....	5
2.2 Normatividad	14
2.2.1 Regulaciones para estabilidad	15
2.2.2 Regulaciones respecto a los análisis y diseño estructural	24
2.3 Resumen	34
3. Marco teórico.....	37
3.1 Mecánica de fluidos y teoría de oleaje.....	37
3.1.1 Ecuaciones aplicables	37
3.1.2 Mecánica de oleaje regular	42
3.1.3 Oleaje regular. Aproximación (lineal) de primer orden	44
3.1.4 Superposición de olas lineales	49
3.1.5 Oleaje regular – Aproximación de segundo orden	51
3.1.6 Oleaje bicromático.....	53
3.1.7 Limitaciones del oleaje de segundo orden de Stokes.....	54
3.1.8 Otras teorías de oleaje no lineal. Aguas intermedias.....	55
3.1.9 Simulación lineal de campos de oleaje aleatorio.....	56
3.2 Teoría y formulación en el dominio de la frecuencia para el cálculo de la respuesta de un SFP	57
3.2.1 Descripción de corto plazo del mar	58
3.2.2 Funciones de transferencia	64
3.2.3 Estadística de la respuesta de corto plazo.....	66
4. Procedimiento de optimización.....	69
4.1 Procedimiento propuesto.....	69
4.1.1 Construcción paramétrica de modelos	71
4.1.2 Análisis de estabilidad	74
4.1.3 Análisis hidrodinámico	77
4.2 Validación del procedimiento	82

4.3 Resumen	99
5. Aplicación del procedimiento de optimización	100
5.1 Casos de estudio.....	100
5.1.1 Análisis de estabilidad	104
5.1.2 Análisis hidrodinámico	107
5.2 Análisis de resultados	110
5.2.1 Movimiento en arfada.....	111
5.2.2 Movimiento en balanceo	114
5.2.3 Movimiento en cabeceo	117
5.2.4 Momento flexionante $M_{X(YZ)}$	120
5.2.5 Momento flexionante $M_Y (FYZ)$	123
5.2.6 Momento flexionante $M_X (FXZ)$	126
5.2.7 Momento flexionante $M_Y (XZ)$	129
5.2.8 Aceleración Acc_x	132
5.2.9 Aceleración Acc_y	135
5.2.10 Aceleración Acc_z	138
5.2.11 Air Gap en P2 y P3.....	141
5.2.12 Air Gap en P1, P4 y P5	144
5.3 Selección del caso de estudio	148
6. Conclusiones.....	153
6.1 Conclusiones.....	153
6.2 Recomendaciones.....	155
7. Referencias.....	157
Anexo A. Casos de estudio.	160
Anexo B. Tablas de resultados.	165

Índice de figuras

Figura 1.1. Zonas específicas de exploración en aguas profundas en el Golfo de México.....	2
Figura 2.1. Diagrama de flujo para resolver la ecuación de movimiento dinámica de un cuerpo flotante con oleaje regular en combinación con la teoría de flujo de potencial (WAMIT) y el modelo de amortiguamiento viscoso (DVRM) Miao (2013, p.79).....	7
Figura 2.2 Diagrama de flujo de la optimización paramétrica de un casco.	9
Figura 2.3 Localización de las plataformas semisumergibles SFP.....	14
Figura 2.4 Curvas de momento adrizante y momento escorante.	16
Figura 2.5 Curvas de estabilidad en condición de daño.	17
Figura 2.6 Curvas de estabilidad intacta de referencia para la comparativa de normas.	18
Figura 2.7 Procedimiento de análisis estocástico de fatiga (DNVGL-RP-C103-2015, p. 24).....	27
Figura 2.8 Procedimiento de análisis en condiciones de tormenta (DNVGL-RP-C103-2015, p. 25).	28
Figura 2.9 Respuestas hidrodinámicas globales (DNVGL-RP-C103-2015, p. 27).	28
Figura 2.10 Función de transferencia para F_s (DNVGL-RP-C103-2015, p. 28).....	29
Figura 2.11 Función de transferencia para M_i con oleaje en diagonal sobre la plataforma.....	30
Figura 2.12 Fuerza cortante y desplazamientos longitudinales (Momentos por cortante M_s)	30
Figura 2.13 La aceleración genera desplazamientos longitudinales (momentos y cortantes en columnas).....	31
Figura 2.14 La aceleración genera desplazamientos transversales (DNVGL-RP-C103-2015, p. 32 y 33).	32
Figura 2.15 Aceleración vertical (DNVGL-RP-C103-2015, p. 33).....	32
Figura 2.16 Momento de flexión de oleaje vertical (DNVGL-RP-C103-2015, p. 34).	33
Figura 2.17 Distribuciones de lastrado en los pontones (DNVGL-RP-C103-2015, p. 34).....	33
Figura 3.1 El problema de cuerpo flotante idealizado.	41
Figura 3.2 Definición de oleaje regular.....	42
Figura 3.3 Representación del movimiento de la partícula de agua en diferentes tirantes de agua	49
Figura 3.4 Superposición de diferentes frecuencias de oleaje lineal.	50
Figura 3.5 Comparación de las aproximaciones de perfiles de ola de primer y segundo orden.	52
Figura 3.6 Superposición de diferentes frecuencias de oleaje, considerando efectos de segundo orden.	54
Figura 3.7 Comparación de las aproximaciones de perfiles de ola no lineal de primer y segundo orden.	55
Figura 3.8 Gráfica para determinar el tipo de oleaje como función de sus parámetros principales (H , T).....	55
Figura 3.9 Construcción de la densidad espectral por superposición de olas lineales	57
Figura 3.10 Definición de ángulos de rumbo entre barco y olas.....	59
Figura 4.1 Procedimiento de optimización de la respuesta de SFP tipo semisumergible.	70
Figura 4.2 Variables identificadas para la parametrización geométrica del casco.	71
Figura 4.3. Esquema del diagrama de flujo para la construcción geométrica del SFP.	73
Figura 4.4 Modelos paramétricos de SFP construidos con el código desarrollado.	74
Figura 4.5 Modelos de panel T1.FEM.	75
Figura 4.6 Modelo de elementos morison, T2.FEM.	75
Figura 4.7 Modelos generados en el archivo T3.FEM (estructural y masas y el de compartimentos.)	75
Figura 4.8 Principios de estabilidad y parámetros principales.	76

Figura 4.9 Curva de estabilidad (momento adrizante vs. ángulo de escora).....	76
Figura 4.10 Grados de libertad del sistema flotante.	78
Figura 4.11 Fuerzas hidrodinámicas en un sistema flotante (Faltinsen, 1990). (Modificado por el autor).....	78
Figura 4.12 Contornos de peligro ambiental para diferentes periodos de retorno.	80
Figura 4.13 Estados de mar filtrados para un periodo de retorno de 100 años.....	81
Figura 4.14 Modelo 1, construido con variables parametrizadas del casco y cubiertas.....	82
Figura 4.15 Modelo 2, construido con variables parametrizadas del casco y cubiertas.....	83
Figura 4.16. Resultados del análisis de estabilidad mediante el módulo de HydroD.	84
Figura 4.17 Curvas estabilidad: momento adrizante y momento escorante.	85
Figura 4.18 Diagrama de momentos flexionantes a lo largo de la sección transversal.....	85
Figura 4.19 Revisión de la estabilidad intacta de acuerdo con IMO –MODU.....	86
Figura 4.20 Resultados del análisis de estabilidad mediante el módulo de HydroD.	87
Figura 4.21 Curvas estabilidad: momentos de adrizado y momento de escora.	87
Figura 4.22 Curvas estabilidad: distancia G-Z, momentos (MR-MH) y fuerza a lo largo de la sección transversal.....	88
Figura 4.23 Revisión de la estabilidad intacta de acuerdo con IMO –MODU.....	89
Figura 4.24 Modelo 1. RAO en el grado de libertad arfada (heave).	90
Figura 4.25 Modelo 1. RAO en el grado de libertad cabeceo (pitch).	90
Figura 4.26 Modelo 1. RAO en el grado de libertad balanceo (roll).....	91
Figura 4.27 Modelo 2. RAO en el grado de libertad arfada (heave).	91
Figura 4.28 Modelo 2. RAO en el grado de libertad cabeceo (pitch).	92
Figura 4.29 Movimientos máximos (RAO) en el grado de libertad de balanceo (roll).	92
Figura 4.30 Superficie de respuesta para el RAO en arfada (heave).....	94
Figura 4.31 Superficies de respuesta para el RAO en cabeceo (pitch).	94
Figura 4.32 Superficies de respuesta para el RAO en balanceo (roll).....	95
Figura 4.33 Superficie de respuesta máxima más probable esperada en arfada (heave).	95
Figura 4.34 Superficie de respuesta máxima más probable esperada en cabeceo (pitch).	96
Figura 4.35 Superficie de respuesta máxima más probable esperada en balanceo (roll).....	96
Figura 4.36 RAO en arfada (heave) sin y con amortiguamiento.....	97
Figura 4.37 RAO en cabeceo (roll) sin y con amortiguamiento.	98
Figura 4.38 Valor más probable de la respuesta máxima en arfada (heave) sin y con amortiguamiento.	98
Figura 5.1 Configuración geométrica típica del casco y modelo de Morison.....	103
Figura 5.2 Modelo de panel y modelo estructural y de masas.....	103
Figura 5.3 Reporte de estabilidad típico.....	105
Figura 5.4 Curva típica de estabilidad.....	106
Figura 5.5 Revisión de la estabilidad en condición intacta. Caso de cumplimiento.....	106
Figura 5.6 Revisión de criterios de estabilidad con IMO-MODU. Caso de cumplimiento.....	107
Figura 5.7 Revisión de las reglas de estabilidad con IMO-MODU. Caso de incumplimiento.	107
Figura 5.8 Definición y notación del Air Gap. DNV-GL.	109
Figura 5.9 Localización de los puntos donde se calculó el Air Gap.....	109
Figura 5.10 Valores máximos del movimiento en arfada (729 casos).	111
Figura 5.11 Valores máximos del movimiento en arfada (243 casos).	112
Figura 5.12 Valores máximos del movimiento en arfada (81 casos).	113
Figura 5.13 Valores máximos del movimiento en balanceo (729 casos).....	114
Figura 5.14 Valores máximos del movimiento en balanceo (243 casos).....	115
Figura 5.15 Valores máximos del movimiento en balanceo (81 casos).....	116
Figura 5.16 Valores máximos del movimiento en cabeceo (729 casos).....	117
Figura 5.17 Valores máximos del movimiento en cabeceo (243 casos).....	118

Figura 5.18 Valores máximos del movimiento en cabeceo (81 casos).....	119
Figura 5.19 Valores máximos del momento flexionante M_X (FYZ) (729 casos).....	120
Figura 5.20 Valores máximos del momento flexionante M_X (FYZ) (243 casos).....	121
Figura 5.21 Valores máximos del momento flexionante M_X (FYZ) (81 casos).....	122
Figura 5.22 Valores máximos del momento flexionante M_Y (FYZ) (729 casos).....	123
Figura 5.23 Valores máximos del momento flexionante M_Y (FYZ) (243 casos).....	124
Figura 5.24 Valores máximos del momento flexionante M_Y (FYZ) (81 casos).....	125
Figura 5.25 Valores máximos del momento flexionante M_X (FXZ) (729 casos).....	126
Figura 5.26 Valores máximos del momento flexionante M_X (FXZ) (243 casos).....	127
Figura 5.27 Valores máximos del momento flexionante M_X (FXZ) (81 casos).....	128
Figura 5.28 Valores máximos del momento flexionante M_Y (FXZ) (729 casos).....	129
Figura 5.29 Valores máximos del momento flexionante M_Y (FXZ) (243 casos).....	130
Figura 5.30 Valores máximos del momento flexionante M_Y (FXZ) (81 casos).....	131
Figura 5.31 Valores máximos de aceleraciones Acc_X sobre la cubierta (729 casos).....	132
Figura 5.32. Valores máximos de aceleraciones Acc_X sobre la cubierta (243 casos).....	133
Figura 5.33 Valores máximos de aceleraciones Acc_X sobre la cubierta (81 casos).....	134
Figura 5.34 Valores máximos de aceleraciones Acc_Y sobre la cubierta (729 casos).....	135
Figura 5.35 Valores máximos de aceleraciones Acc_Y sobre la cubierta (243 casos).....	136
Figura 5.36 Valores máximos de aceleraciones Acc_Y sobre la cubierta (81 casos).....	137
Figura 5.37 Valores máximos de aceleraciones Acc_Y sobre la cubierta (729 casos).....	138
Figura 5.38 Valores máximos de aceleraciones Acc_Z sobre la cubierta (243 casos).....	139
Figura 5.39 Valores máximos de aceleraciones Acc_Z sobre la cubierta (81 casos).....	140
Figura 5.40 Valores máximos de Air Gap (P2-P3) (729 casos).....	141
Figura 5.41 Valores máximos de Air Gap (P2-P3) (243 casos).....	142
Figura 5.42 Valores máximos de Air Gap (P2-P3) (81 casos).....	143
Figura 5.43 Valores máximos de Air Gap (P1-P4-P5) (729 casos).....	144
Figura 5.44 Valores máximos de Air Gap (P1-P4-P5) (243 casos).....	145
Figura 5.45 Valores máximos de Air Gap (P1-P4-P5) (81 casos).....	146

Índice de tablas

Tabla 2.1	Peso, centro de gravedad y calado para cada caso de diseño.	10
Tabla 2.2	Cumplimiento con los requisitos de estabilidad de ABS.	10
Tabla 2.3	Esfuerzos combinados y desplazamientos máximos y mínimos calculados.	11
Tabla 2.4	Cargas ambientales para un Huracán de 100 años.	11
Tabla 2.5	Respuestas de la embarcación.	11
Tabla 2.6	Semisumergibles y sus características generales.	12
Tabla 2.7	Datos de varias plataformas semisumergibles de producción en el mundo hasta el 2012.	13
Tabla 2.8	Condiciones de viento especificadas para normas de estabilidad intacta y dañada.	20
Tabla 2.9	Otros criterios normativos para estabilidad intacta y dañada.	20
Tabla 2.10	Normas para estabilidad intacta.	21
Tabla 2.11	Localización y extensión del daño periférico considerado.	21
Tabla 2.12	Normas de estabilidad para el daño periférico.	22
Tabla 2.13	Localización y normas para un compartimento dañado.	22
Tabla 2.14	Requerimientos alternativos de estabilidad.	23
Tabla 2.15	Requerimientos de la curva límite de flotación KG.	23
Tabla 2.16	Requerimientos adicionales de la curva límite de flotación KG.	23
Tabla 2.17	Condiciones de diseño y estados límite (DNVGL-RP-C103-2015, p. 7).	25
Tabla 2.18	Condiciones de diseño y estados límite recomendados (DNVGL-OS-C103-2015, p. 34).	26
Tabla 2.19	Resumen de datos de plataformas semisumergibles.	35
Tabla 2.20	Resumen de datos de plataformas semisumergibles.	35
Tabla 2.21	Resumen de requisitos de estabilidad de distintas normas de las tablas 2.8 a 2.16.	36
Tabla 4.1	Dimensiones del casco, cubierta y sus elementos.	83
Tabla 5.1	Casos de estudio propuestos.	101
Tabla 5.2	Códigos computacionales y su descripción.	102
Tabla 5.3	Influencia de las variables paramétricas en las variables de respuesta.	147
Tabla 5.4	Valor mínimo de la respuesta máxima más probable para cada variable de respuesta.	148
Tabla 5.5	Valor mínimo de la respuesta máxima más probable para Air Gap.	149
Tabla 5.6	Casos de estudio que minimizan la respuesta global.	151
Tabla 5.7	El peso como variable para selección del caso de estudio.	152
Tabla A.I	Casos de estudio propuestos del 1 al 210.	161
Tabla A.II	Casos de estudio propuestos del 211 al 420.	162
Tabla A.III	Casos de estudio propuestos del 421 al 630.	163
Tabla A.IV	Casos de estudio propuestos del 631 al 729.	164
Tabla B.I	Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 1 al 50.	166
Tabla B.II	Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 51 al 100.	167
Tabla B.III	Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 101 al 150.	168
Tabla B.IV	Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 151 al 200.	169
Tabla B.V	Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 201 al 250.	170

<i>Tabla B.VI. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 251 al 300.....</i>	<i>171</i>
<i>Tabla B.VII. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 301 al 350.....</i>	<i>172</i>
<i>Tabla B.VIII. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 351 al 400.....</i>	<i>173</i>
<i>Tabla B.IX. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 401 al 450.....</i>	<i>174</i>
<i>Tabla B.X. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 451 al 500.....</i>	<i>175</i>
<i>Tabla B.XI. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 501 al 550.....</i>	<i>176</i>
<i>Tabla B.XII. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 551 al 600.....</i>	<i>177</i>
<i>Tabla B.XIII. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 601 al 650.....</i>	<i>178</i>
<i>Tabla B.XIV. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 651 al 700.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla B.XV. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 701 al 729.....</i>	<i>180</i>

Abreviaturas

ABS	American Bureau of Shipping
API	American Petroleum Institute
CTEP	Centro de Tecnologías para Exploración y Producción (antes CTAP)
CNH	Comisión Nacional de Hidrocarburos
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
DNV-GL	Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd
IACS	International Association of Classification Societies
IMO	International Maritime Organization
MODU	Mobile Offshore Drilling Units
PEMEX	Petróleos Mexicanos
SENER	Secretaría de Energía.

Notación

A	Área.
CB	Centro de flotación.
CG	Centro de gravedad.
GB	Distancia del centro de gravedad al centro de flotación.
GM	Altura metacéntrica. Distancia del metacentro al centro de gravedad.
I_{xx}	Momento de inercia alrededor del eje X del área de un cuerpo en el plano de agua.
I_{yy}	Momento de inercia alrededor del eje Y del área de un cuerpo en el plano de agua.
KG	Distancia del centro de gravedad a la quilla o parte inferior de una embarcación.
LCG	Posición Longitudinal del Centro de gravedad.
Minw	Peso mínimo del casco de un SFP.
MBD	Miles de barriles diarios.
OCS	Outer Continental Shelf (Plataforma Continental Exterior).
RCS	Sociedad o Sociedades de Clasificación Reconocida
SFP	Sistema flotante de producción.
TCG	Posición Transversal del Centro de gravedad.
VCG	Posición vertical del Centro de gravedad.
VD	Volumen desplazado o desplazamiento.
VDL	Volumen desplazado longitudinal.

Definiciones

Aker Solutions	Aker Solutions is a global provider of products, systems and services to the oil and gas industry. Its engineering, design and technology bring discoveries into production and maximize recovery. http://akersolutions.com/
Airgap	Distancia libre entre la cresta de la ola o espejo del agua (en condición de aguas tranquilas) y la parte inferior de la viga más a peraltada de la cubierta de una plataforma.
Braces	Elemento diagonal entre dos columnas y/o dos través de entrepiso que trabaja como arriostramiento lateral en un marco de una estructura.
Calado	Es la parte sumergida del casco o la distancia del plano de agua hasta la quilla, la parte más baja del casco.
Francobordo	Distancia libre desde el plano del agua hasta la parte superior de la cubierta de la embarcación o la parte del casco que esta fuera del agua de una embarcación.
Heave	Arfada, desplazamiento a lo largo del eje vertical.
Intermoor	El líder de la tecnología de amarres e instalaciones. http://www.intermoor.com/es/
Pitch	Cabeceo, giro alrededor del eje transversal de una embarcación.
Pontones	Estructura inferior horizontal, en forma de paralelepípedo, conectado con las piernas de las plataformas semisumergibles. Normalmente tienen compartimentos para el agua de lastrado y es el que le da la flotación a la plataforma.
RAO	Response Amplitude Operator (Operador de amplitud de la respuesta). Son funciones de transferencia que se utilizan para determinar el efecto que tendrá un estado de mar sobre el movimiento de un SFP, lo que permite determinar la amplitud del movimiento basándose en una ola unitaria.
Roll	Balanceo, giro alrededor del eje longitudinal de una embarcación.
Surge	Avance, desplazamiento a lo largo del eje longitudinal.
Sway	Deriva, desplazamiento a lo largo del eje transversal.
Yaw	Guiñada, giro alrededor del eje vertical de una embarcación.

Capítulo 1

1. Generalidades

El presente trabajo, fue parte de un proyecto global de investigación y desarrollo dentro de la Gerencia de Herramientas y Sistemas para Pozos e Instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo, enfocado a la generación de herramientas que coadyuvaran al crecimiento del área de sistemas flotantes de producción (SFP) en aguas profundas¹.

Bajo la dirección del proyecto desarrollado, el Dr. Iván Félix González, siempre marco la línea de investigación, asesoró y encausó el trabajo para la obtención de resultados que fueran factibles y tangibles para los intereses del proyecto y la institución.

El Dr. Francisco Leonel Silva González, quien dirigió este trabajo en conjunto con el Dr. Félix, siempre orientó y proporcionó los elementos necesarios para la integración y estructuración de los temas desarrollados, apoyando en todo momento y orientando conforme las dudas y las dificultades que se presentaron.

1.1 Antecedentes

En las pasadas décadas, las políticas energéticas nacionales estuvieron orientadas a impulsar el campo de conocimiento que estaba (y continua en menor medida) en desarrollo en materia de exploración, explotación y producción de hidrocarburos relacionado con los SFP en aguas profundas.

Por muchos años, los campos como Cantarell, entre otros, en la Sonda de Campeche, abastecieron la demanda de la industria energética nacional e internacional, pero como todo en nuestro planeta tiene carácter finito, la explotación de hidrocarburos en aguas someras nacionales, estaba llegando a niveles de producción mínimos históricos, por lo que la tendencia en México en ese entonces, en específico para PEMEX y para la CNH era la explotación de campos de hidrocarburos en aguas profundas.

Las áreas más importantes definidas para comenzar los trabajos de explotación en aguas profundas son: Cinturón Plegado Perdido, Oreos, Nancan, Jaca-Patini, Lipax, Holok, Temoa, Han y Nox-Hux, localizadas frente a las costas de los estados de Tamaulipas y Veracruz. A partir de 2015 existieron grandes expectativas de incorporar producción proveniente del Golfo de México, que fueron calculadas en un volumen de 13 MBD Greenpeace, (2010).

¹ Cuando se inició el proyecto de investigación en el Instituto Mexicano del Petróleo, las políticas nacionales y de PEMEX eran el desarrollo de proyectos orientados a la explotación de campos en aguas profundas.

En el marco de la anterior reforma energética, se publicaron las convocatorias para concursar en las llamadas rondas para la exploración y explotación de campos en aguas profundas. Dado que estas convocatorias fueron de carácter internacional, se otorgó la oportunidad de ingresar en estas áreas de desarrollo, por lo que instituciones de investigación, como el IMP, vieron áreas de oportunidad y aplicación², para ofrecer a PEMEX o cualquier actor los servicios de ingeniería y/o consultoría requeridos para este tipo de proyectos.

En el sexenio pasado, SENER-CONACYT impulsó este tipo de investigaciones, con apoyos del fondo para el desarrollo de herramientas, que ayudaran a mejorar los diseños y proyectos de ingeniería.

Exploración dirigida a zonas específicas



Fuente: Pemex Exploración y Producción (PEP)

Figura 1.1. Zonas específicas de exploración en aguas profundas en el Golfo de México.
 Recuperado de (http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/9/fs_petroleo-aguas-profundas.pdf).

² El IMP y CONACYT por medio del Fondo Sectorial CONACYT-SENER-Hidrocarburos invirtió en la creación del Centro de Tecnologías para Aguas Profundas (CTAP) ubicado en Boca del Río, Veracruz. Con la entrada del nuevo gobierno, las políticas de explotación han cambiado y ahora están orientadas al desarrollo de campos en tierra y aguas someras, por lo que se cambió el nombre y las prioridades de investigación, actualmente el centro tecnológico se llama CTEP (Centro de Tecnologías para Exploración y Producción).

1.2 Objetivos

Los objetivos de este trabajo de tesis son los siguientes:

- Identificar los parámetros que definen la configuración geométrica del casco de un SFP tipo semisumergible y que influyen significativamente en su respuesta.
- Implementar un procedimiento que optimice el diseño del casco de un SFP tipo semisumergible buscando minimizar la respuesta hidrodinámica.
- Analizar la influencia de las variables paramétricas seleccionadas en la respuesta hidrodinámica del SFP tipo semisumergible.

1.3 Alcances

El presente trabajo tiene los siguientes alcances:

- Identificar la normatividad aplicable para el diseño de SFP.
- El estudio se limita a SFP tipo semisumergible.
- Los casos de estudio no incluyen el análisis y diseño estructural del casco.
- Los análisis de estabilidad solo considerarán la condición intacta, queda fuera del alcance de esta tesis, los análisis de estabilidad en condición de daño.
- Desarrollar herramientas computacionales que ayuden al procedimiento para obtener el diseño óptimo del casco de un SFP tipo semisumergible.
- Aplicar el procedimiento propuesto a múltiples casos de estudio.
- Analizar los resultados obtenidos para identificar la configuración geométrica parametrizada del casco del SFP que mejor minimiza la respuesta hidrodinámica.

1.4 Organización del trabajo

El presente trabajo está desarrollado en siete capítulos y dos anexos. En el primero se da la introducción al trabajo.

El capítulo dos se divide en dos partes. La primera parte consiste en la información bibliográfica encontrada referente al diseño óptimo del casco de un SFP tipo semisumergible. La idea central de la búsqueda fue encontrar las variables de diseño que se pudieran parametrizar, para el desarrollo de un código computacional, que ayudara al dimensionamiento preliminar de cascos de SFP tipo semisumergible, cumpliendo con los requisitos de estabilidad (análisis hidrostáticos) y de la respuesta dinámica (análisis hidrodinámicos). La segunda parte del capítulo describe la normatividad que regula este tipo de SFP.

El capítulo tres, se enfoca en desarrollar el marco teórico que fundamenta la respuesta global de SFP, haciendo una breve explicación de las teorías involucradas para explicar las ecuaciones de movimiento que describen la trayectoria de las partículas en un fluido y su interacción con objetos flotantes. También se realiza la descripción de los principios de estabilidad y las ecuaciones que rigen los movimientos de cuerpos flotantes en un fluido. Se muestra el procedimiento para determinar el valor más probable de las respuestas máximas del SFP.

El capítulo cuatro, describe las herramientas computacionales desarrolladas en este trabajo para:

- La construcción paramétrica de un casco de un SFP tipo semisumergible.
- El cálculo de la fracción de llenado de los tanques de lastrado para garantizar la estabilidad hidrostática de la plataforma semisumergible.
- La generación de los parámetros y datos necesarios para la revisión de los requisitos de estabilidad.
- El suministro de datos y variables secundarias para el análisis hidrodinámico,
- La extracción de datos de los resultados obtenidos, para el procesamiento de las respuestas requeridas.
- La minimización del valor más probable de las respuestas máximas y la selección de la configuración geométrica que minimiza el mayor número de respuestas.

El capítulo cinco, es la aplicación del procedimiento de optimización propuesto para minimizar las respuestas máximas más probable de los SFP tipo semisumergible, a su vez, la aplicación y validación de las herramientas computacionales desarrolladas, mediante la selección de 729 casos de estudio. Se hace una descripción de los datos obtenidos de los análisis, luego el procesamiento de los resultados y finalmente la selección de la configuración geométrica óptima que mejor minimiza el mayor número de respuestas.

El capítulo 6 está enfocado a las conclusiones alcanzadas por el presente trabajo y las recomendaciones para su mejora, así como para futuras investigaciones relacionados con el tema. El capítulo 7, son las referencias utilizadas.

Este trabajo termina con los anexos, el anexo A, describe los casos de estudio y el anexo B, muestra en tablas los resultados obtenidos.

Capítulo 2

2. Introducción

En este capítulo se hizo una revisión en la literatura, de lo que hasta ahora³ se ha desarrollado, con respecto a metodologías de diseño basadas en la optimización de la respuesta de SFP. Se revisaron trabajos como tesis, artículos o publicaciones en revistas y congresos internacionales, así como en libros y trabajos de proyectos desarrollados con objetivos similares y además, que estuvieron disponibles en la red de manera gratuita. También se revisó la normatividad aplicable al diseño de SFP, en específico las que regulan a las plataformas semisumergibles.

2.1 Revisión bibliográfica

Dentro del mundo de los SFP, existen una gran variedad de ellas, que son proyectadas, diseñadas y construidas de acuerdo con el servicio que prestarán durante su vida útil. Para ello y dadas las necesidades de crecimiento de los países petroleros, los SFP están ganando una gran aceptación, dada su versatilidad, maniobrabilidad y operabilidad. Son sistemas muy flexibles para su operación en aguas profundas. Tal vez, el único inconveniente es que son estructuras hechas a la medida, por eso es muy importante la proyección futura de producción, porque de ello dependerá el tamaño de la cubierta, el tipo de equipo, lo que lleva a establecer el peso que soportará el SFP.

Conocidos el peso de equipo, de producción y el área de cubierta, se puede dimensionar la superestructura. Conocido el peso total de la superestructura se puede pre-dimensionar el casco del SFP, que es el objetivo de este trabajo. En sí, se busca parametrizar las variables más significativas de las dimensiones del caso de un SFP tipo semisumergible, que soporte el peso total (desplazamiento) y cumpla con los requerimientos de estabilidad y los requerimientos de la respuesta dinámica.

De lo anterior se desprenden numerosos casos de estudio, enfocados a obtener diseños preliminares del casco de un SFP, que sean prácticos y flexibles, de bajo costo y se desarrollen en tiempo, con el fin de que los ingenieros diseñadores, tengan más información y herramientas que permitan realizar una proyección futura confiable de las dimensiones y pesos del SFP. El desarrollo de estas herramientas coadyuvará en mejores diseños de gabinete y una mejor conceptualización del tipo de estructura flotante requerida.

³ La búsqueda de la información se realizó y terminó en el año 2018, por lo que es posible que exista información más reciente referente al tema.

El desarrollo de métodos de optimización empleados para el diseño de estructuras y SFP, ha tenido un auge en los últimos años. El objetivo principal, es desarrollar metodologías o procedimientos que ayuden a optimizar las variables de diseño y sensibilizarse de cuales variables son más importantes. Con la parametrización se busca identificar las variables más sensibles a los cambios y el valor más probable que arrojen un mejor diseño, optimo y confiable.

En este camino, han sido varios los actores involucrados, desde las compañías petroleras, la iniciativa privada, los académicos y las instituciones de investigación, que se han dado la tarea de buscar y desarrollar metodologías que ayuden a mejorar los diseños en tiempos relativamente más cortos y a un menor costo.

Noruega ha sido uno de los países con un alto desarrollo en este campo de conocimiento, son líderes en materia de aguas profundas, SFP y metodologías de optimización para el diseño cascos de SFP.

Tal es el caso de la tesis de maestría de *Rise (2013)* por parte de la *Norwegian University of Science and Technology*. El planteamiento de dicha tesis, es establecer una función objetivo para optimizar la respuesta del casco de una plataforma semi-sumergible de perforación y definir las restricciones y límites que deben cumplir las variables, para garantizar un comportamiento óptimo en condiciones de estabilidad y respuesta hidrodinámica ante condiciones ambientales de huracán, para un periodo de retorno de 100 años.

La función objetivo que propone *Rise (2013)* es la del peso del casco:

$$MIN_W = W^C + W^P + W^B$$

donde:

- W^C = peso de las columnas
- W^P = peso de los pontones
- W^B = peso de los braces

Para conseguir esto se requieren que se cumplan con las restricciones siguientes:

- Estabilidad: metacentro GM , desplazamientos VD_i , propiedades geométricas I_{xx} , I_{yy} , A , etc.
- Movimientos característicos ($RAOs$): sólo considera el movimiento en sustentación (heave).
- Peso del casco y cubierta: restricciones de VD_i , W_i , lastre y flotación.
- Air-gap: altura mínima considerando el calado.
- Geometría: relación entre las dimensiones de las columnas, pontones y braces del casco.
- Área de cubierta: relacionada con la separación entre columnas.

El algoritmo fue desarrollado en “Excel” utilizando la función “solver” como herramienta para optimización, que está basado en algoritmos genéticos GNR. Las restricciones límites fueron datos proporcionados por la compañía *Aker Solutions*, con base en su experiencia de diseño y construcción.

En el trabajo de *Miao (2013)*, se busca optimizar el diseño para plataformas flotantes monocolumna, considerando modelos con viscosidad y sin viscosidad y mediante el método de elementos frontera se obtendrá la respuesta hidrodinámica. Al igual que en todos los SFP, las variables de control son: la respuesta hidrodinámica (6 grados de libertad), control de peso y la estabilidad hidrostática.

Dentro la estabilidad hidrostática se busca optimizar la altura metacéntrica (GM), que para la mayoría de los SFP está por encima del centro de flotación (GB), pero para este caso particular el (CG) debe estar por debajo del (CB).

Otras dimensiones importantes que hay que controlar son, el área en el plano del agua, el francobordo, el área de cubierta y el calado.

Todas estas variables buscan controlar la respuesta (RAO) del movimiento vertical del SFP (*arfada*), para esto, se puede reducir la rigidez, aumentar la masa adherida o aumentar el amortiguamiento. El siguiente diagrama muestra el procedimiento seguido por *Miao (2013)*.

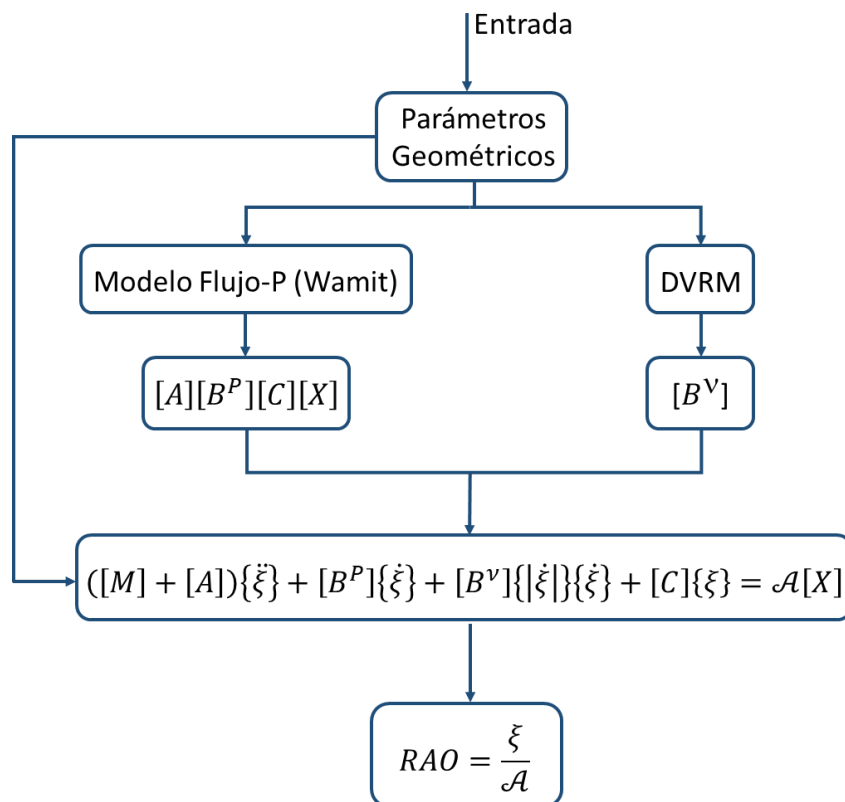


Figura 2.1. Diagrama de flujo para resolver la ecuación de movimiento dinámica de un cuerpo flotante con oleaje regular en combinación con la teoría de flujo de potencial (WAMIT) y el modelo de amortiguamiento viscoso (DVRM) *Miao (2013, p.79)*.
(Modificado por el autor).

donde:

- M_{ij} son los elementos de la matriz de masas.
- A_{ij} son los coeficientes de masa adherida.
- B^P_{if} son los coeficientes de amortiguamiento del oleaje lineal.
- B^V_{ij} son los coeficientes de amortiguamiento viscoso.
- C_{ij} son los coeficientes de la fuerza de restauración.
- A es la amplitud de la ola incidente lineal.
- X_i es la fuerza de excitación de oleaje sobre el cuerpo en la i -ésima dirección i por amplitud de ola incidente.
- ξ_f es la amplitud de la respuesta del cuerpo en la i -ésima dirección j .

Definida o controlada la respuesta en arfada (*heave*), se busca mediante la teoría de optimización llegar a las mejores dimensiones, para ello se busca controlar los siguientes aspectos:

- Optimización paramétrica para la generación automática de la forma del casco.
- Análisis hidrodinámico de una geometría arbitraria del casco.
- Definición de la función objetivo.

La función objetivo está matemáticamente definida por dos funciones $F = [f_1, f_2]$ donde:

$$f_1 = \frac{H}{\sqrt[3]{V}} \quad y \quad f_2 = \sqrt[4]{\int_0^\alpha \frac{S(w)|RAO(W)|^2 dw}{H_s}}$$

donde:

- f_1 es la función que relaciona las condiciones de sitio y la geometría del cuerpo.
- f_2 es la función de la respuesta del cuerpo.
- H es el tirante de agua.
- V es el desplazamiento del casco.
- $S(w)$ es la densidad espectral de oleaje en condiciones de tormenta (Espectro ITTC, Miao, 1980, p 85).
- $RAO (W)$ es el operador de amplitud de la respuesta en oleaje regular (relación entre la respuesta y la ola incidente, Miao, 2013, p.82).
- H_s es la altura de ola significativa.

Las restricciones para lograr la optimización son las siguientes:

- Controlar el periodo natural en arfada (*heave*) ($T_n \geq 19$ s, Miao, 2013, p.117)
- Mantener la altura metacéntrica ($GM \geq 1.0$ m, Miao 1980, p.117).
- Restringir el área sobre el plano de agua ($R_T \geq 7.0$ m, Miao, 2013, p.117).

Finalmente se llega al diagrama de flujo para la optimización del diseño de un casco, ver figura 2.2. Cabe señalar que la normatividad empleada son las normas, prácticas recomendadas y guías de *DNV-GL*.

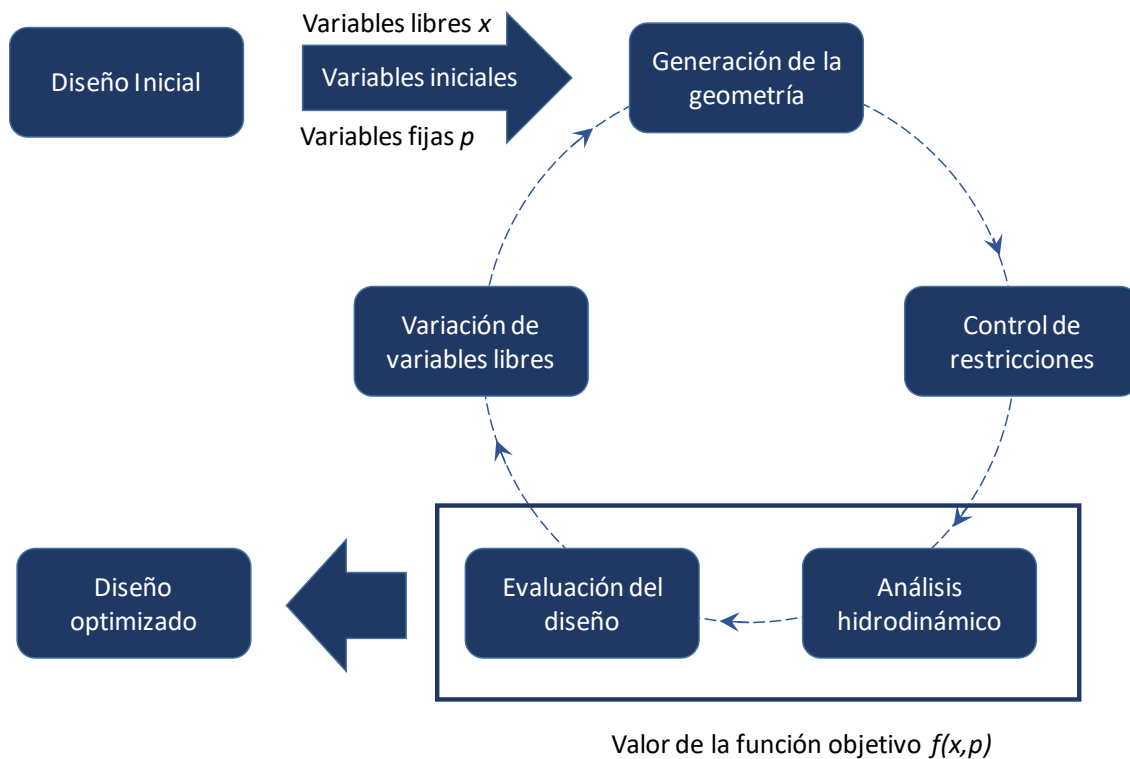


Figura 2.2 Diagrama de flujo de la optimización paramétrica de un casco. (Modificado por el autor).

En otro estudio la *Universidad de Texas A&M (2007)*, desde un punto de vista práctico, se refiere al diseño de una plataforma semisumergible, revisada con las normas *API* y las reglas de *ABS*, considerando las siguientes líneas:

- Arreglo general y diseño global del casco.
- Peso, flotación y estabilidad.
- Cargas locales y globales.
- Resistencia y diseño estructural.
- Costos.

El arreglo general es a base de 4 columnas cuadradas de 90x53x53 ft, pontones de 273x53x50 ft. Los pontones tienen cuatro compartimentos y las columnas 5. Los tanques de lastre se encuentran en los pontones.

El dimensionamiento del casco se hizo considerando los tanques de lastre completamente llenos para cumplir con todos los requerimientos de estabilidad.

El peso, la flotación y la estabilidad se revisó cumpliendo las reglas ABS y con las siguientes consideraciones para cada fase de diseño:

Tabla 2.1 Peso, centro de gravedad y calado para cada caso de diseño.
(Modificado por el autor).

ID	Transporte del Casco	Transportación	Operación	Tormenta
Peso (kips)	46095	76749	167226	168188
LCG (ft)	0.00	0.13	0.00	0.00
TCG (ft)	0.00	-0.13	0.00	0.00
VCG (ft)	43.66	94.78	65.47	59.68
GM (ft)	516.74	250.01	17.69	23.11
Calado (ft)	15.44	25.71	75.00	76.34
Air Gap (ft)	N/A	114.29	65.00	63.66

Tabla 2.2 Cumplimiento con los requisitos de estabilidad de ABS.
(Modificado por el autor).

Condición	Criterio	Requerimiento	Transporte del casco	Transportación	Operación	Tormenta
Intacta	Área de momento adrizante / Área de momento escorante	>1.3	19.47	5.23	1.66	3.30
	Brazo de momento positivo desde 0 hasta el punto de inundación o la segunda intercepción	sí	sí	sí	sí	sí
Dañada	Primera intercepción hasta segunda intercepción o punto de inundación	>7°	N/A	33.50°	7.54°	9.91°
	Brazo de momento adrizante máximo / Brazo de momento escorante	>2	N/A	18.31	6.82	9.27

Las cargas globales y locales consideran, el peso propio, la flotación y la presión del oleaje sobre el casco. Las cargas son consideradas uniformemente distribuidas sobre el casco.

El diseño estructural se realizó mediante análisis de elemento finito y siguiendo las recomendaciones de esfuerzos de ABS.

Tabla 2.3 Esfuerzos combinados y desplazamientos máximos y mínimos calculados.
(Modificado por el autor).

ID	Operación	Compresión	Flexión	Unidades
σ_{max}	11.9	15.6	16.6	ksi
σ_{min}	-20.0	-25	-27.2	ksi
Desplazamiento	1.41	3.27	4.21	pulgadas

Las cargas ambientales utilizadas son para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 2.4 Cargas ambientales para un Huracán de 100 años.
(Modificado por el autor).

Tipo de Carga	Transversal	Longitudinal	Diagonal
Viento (kips)	1462.3	1258.7	1814
Corriente (kips)	627.1	627.1	836.2
Oleaje (kips)	81.1	92.9	115.9
Total (kips)	2170.5	1978.7	2766.1

El sistema de amarre está formado por 12 líneas tensionadas (taut-leg) (arreglos de 4 líneas, separadas a 10°) y está compuesto por segmentos de poliéster de 10.25" y cadenas de 7", el movimiento del sistema está dentro de un diámetro de 150 ft, el anclaje es utilizando pilotes de succión con pilotes de 95 ft x 216" x 1.65".

Para la hidrodinámica de los movimientos y las cargas, *INTERMOOR* suministro los RAOs de un diseño similar. Los periodos en arfada y balance (*heave & roll*) son del orden de 23.86 s y 42.65 s respectivamente.

Tabla 2.5 Respuestas de la embarcación.
(Modificado por el autor).

Periodo	Movimiento en sustentación (ft)			Movimiento en Balanceo / Cabeceo (°)		
	Significante	Máximo	Máximo permisible	Significante	Máximo	Máximo permisible
Tormenta de Invierno (Tr=10 años)	±1.90	±3.53	-	0.11	0.21	4
Huracán (Tr=100 años)	±6.85	±12.75	±16.00	0.11	0.79	10

Los costos de diseño de la semisumergible sólo consideran el casco y el sistema de amarre y es de 225.8 millones de dólares. El costo del casco incluye ingeniería, procura y fabricación y está basado en el peso del acero estructural y fue de 195.2 millones de dólares. El costo del sistema de amarre fue de 30.7 millones de dólares, incluye todos los componentes de las líneas, accesorios de unión con el casco y el sistema de anclaje.

Con respecto a los costos y otros datos de las características de plataformas semisumergibles, en la página web de *Petrowiki*, muestra una tabla comparativa de varios diseñadores de este tipo de estructuras.

Tabla 2.6 Semisumergibles y sus características generales.

Recuperado de (http://petrowiki.org/File%3ADevol2615_1.png).

Designer	Model (No. Built)	Year Built	Initial Cost (M\$)	Water Depth (ft)	Size (ft)	Mooring	Riser Tension (kips)	Drilling Operations			Comments
								Draft (ft)	Displace (LT)	VDL (LT)	
Aker	H-3 (30)	1974–1981	28–35	600–1,500	355×221×120	Conventional chain	640	70	23,750	3,000	Most common second-generation semi. Many enhanced for more VDL. Not a common deepwater upgradeable unit.
SEDCO	700 (11)	1973–1983	30–53	600–1,500	246×229×90	Conventional chain	640	85	22,350	2,800–4,000	The SEDCO 711 Class was an enlarged version of the 700 Class with 4 units built. Most of these units have had limited water depth upgrades.
Forex Neptune	Pentagone (11)	1973–1977	20–42	660–1,500	338×326×133	Conventional wire rope	640	73.3	15,447	2,200–2350	This French design has had limited water depth upgrades of 2,000 to 2,500 ft. Two units were pushed to 4,500 ft with special equipment. Includes Model L-900.
Friede Goldman	Pacesetter (5)	1974–1976	30–54	600–1650	260×218×111	Conventional chain	480	60	19373	1700	
Friede Goldman	Enhanced Pacesetter (33)	1976–1991	40–93	660–2,200	260×200×111	Conventional chain	640	70	21,312	2,500	Includes Model L-767/907/945/1033 and 9500. Average water depth is 1,500 to 2,000 ft. Some units have had major water depth upgrades.
Korkut Engineers	New Era (5)	1974–1983	28–92	600–2,000	325×200×95	Conventional chain	800	55	22,017	2,400	There is considerable difference between various units. Three units have had major deepwater upgrades.
Noble Drilling	EVA 4000 (5)	Conv. 1998–1999	Conv. 142–175	4,500–10,000	348×328×130	Combination chain and wire rope	1,920	80	26,500	4,000–4,900	All these units are conversion from a submersible hull. One is a DP version.
ODECO	Odyssey (5)	1983–1988	65	5,000	390×259×142	Combination chain and wire rope	1,280	80	43,030	7,000	Includes one DP Semi but statistics not listed. Some models are referred to Ocean Ranger II class.
ODECO	Victory (11)	1972–1975	20–35	600–2,000	323×292×128	Conventional chain	480–640	70	23,127	2,250	Popular design for conversion to deepwater upgrade as deep as 6,500 ft.
Reading & Bates	RBS-8 (2)	2001–2002	335	10,000	374×256×136	DP assist, combination chain and wire rope	3,200	75.5	49,473	9,249	All new fifth-generation units. Very large unit with unusually high VDL but limited deck space.
SEDCO Forex	Express (3)	2000	325	6,000–7,500	349×226×111	DP	2,000	65.6	33,927	5,905	Unusual French design that has met with limited success.
Trosvik	3000 (5)	1982–1983	75–90	1,500	345×258×118	Conventional chain	640	77	27,224	2,852	Competitor to Aker H-4.2 and other third-generation units.
Trosvik	8000/9000 (3 built, 2 under construction)	1999–2001	275–480	5,000–10,000	361×246×148	DP and combination chain and wire rope	1,920–3,200	78	51,766	6,889	Most of these units are fifth-generation units.

1. The above characteristics are general, are slanted toward initial construction, and are "average." Almost all classes of rigs have been upgrade, have been modified, and/or have had major water upgrades over the years, thus increasing their mooring capability, riser tension, VDL, and displacement.

2. Source: Mobile Rig Register for 2000 and Offshore Data Services for 2001/02.

También en la página web de *Offshore*, se encontró otro poster similar, del cual solo se extrajeron los datos más importantes y referentes a semisumergibles de producción.

Tabla 2.7 Datos de varias plataformas semisumergibles de producción en el mundo hasta el 2012.
Recuperado de (<http://www.offshore-mag.com/>). (Modificado por el autor).

NOMBRE	INFORMACION DE LOCALIZACION		TIPO DE BUQUE	CLASIFICACION	DIMENSIONES			CALADO MAXIMO OPERACION (ft)	WEQ (ton)	DESPLAZAMIENTO (TONS)	PESO MUERTO DWT (TONS)	PONTONES				COLUMNAS				SUPERESTRUCTURA		SISTEMA DE AMARRE	
	PAIS	H (FT)			l (ft)	b (ft)	h (ft)					No.	l (ft)	b (ft)	h (ft)	No.	l (ft)	b (ft)	h (ft)	Wope (ton)	Acub (ft²)	SISTEMA DE ANCLAJE	No. LINEAS
AH001	UK	460	SS	BV	311	249	98	65		26,639		4	269	54		8				12,000		Spread/Wire Chain	12
ÅSGARD B	Norway	984	SS	DNV	374	315	177	82		84,848	32,305	4	336			6		40		34,000		Spread/Wire Chain	16
ATLANTIS	US GOM	7,072	SS-PQ	ABS	423	390	294	85	58,700	89,000	35,500	4	294	65	33	4	65	65	109	25,500	43,000	Taunt Leg/Wire Chain	12
BALMORAL	UK	470	SS	DNV	338	413	189	74	8,929	30,983		2	361	54	26	4		50				Spread/Wire Chain	8
BLIND FAITH	US GOM	6,494	SS	ABS					10,624	40,000		4	218	44	22	4		22	150	9,600		Spread/Polyester Chain	8
BUCHAN A	UK	387	SS	LR	325	338	114	72		18,995		5	72	72	25	5		28				Wire Chain	10
GJOA	Norway	1,181	SS		328	328				58,400	20,650	4	280	58	29	4	58	58	131	22,000	100,719	Spread/Wire Chain	16
HELI PRODUCER I	US GOM	2,099	FPU	LR	528	95	47	28		29,000									4,000				
INDEPENDENCE HUB	US GOM	7,918	FPU	ABS	232	232	160	105		46,160	19,300		141	38	26	4	46	46	134	10,250	30,800	Spread/Polyester Chain	12
INNOVATOR	US GOM	2,998	SS-FPU	ABS	280	210	100	47	1,391	15,848	1,645	2	280	40	20	8	4-27' / 4-18'	4-27' / 4-18'	80	15,848	36,960	Spread	12
JANICE	UK	262	FPU	BV							18,000	2										Spread/Wire Chain	12
KRISTIN	Norway	1,050	SS	DNV	409	294	166	70		56,600	23,500									17,500		Spread/Wire Chain	16
MOHO/BILONDO	Congo	2,034	FPU	BV	618	112	41		28,433														
NAKKA	US GOM	6,340	SS	ABS		184	466	90	20,000	64,000		4		41	35	4	56	56	142	12,112	96,815	Wire Chain	16
NAN HAI TIAO ZHAN	China	1,090	SS	VR	90	75	40															Spread/Wire Chain	11
NJORD A	Norway	1,083	SS	DNV	328	262		76		45,077		2	328	58	30	4		52	100			Spread/Wire Chain	12
NORTHERN PRODUCER	UK	1,148	FPU	LR	108	67	37									10			4,500	3,864	Spread/Wire Chain	8	
P-07	Brazil	686	SS	DNV	355	221	120	70	8,781	20,493		2	355	36	22	8		26				Chain	8
P-08	Brazil	1,388	SS	ABS	355	221	120	67	7,408	20,990		2	355	36	22	8		26				Norwich Double	4
P-09	Brazil	755	SS	ABS	355	227	121	70		22,896		2	354	42	22	8		30				Norwich Double	8
P-12	Brazil	338	SS	BV	355	227	121	70		22,896		2	354	42	22	8		30				Norwich Double	8
P-13	Brazil	2,051	SS	BV	302	226	89	71		22,243		2	302	46	20	6		31				Spread/Wire Chain	8
P-14	Brazil	640	SS	BV	302	226	89	71		22,243		2	302	46	20	6		31				Spread/Wire Chain	8
P-15	Brazil	797	SS	BV	343	220	115	66		21,616		2	343	39	23	8		30					8
P-18	Brazil	2,986	SS-PQ	DNV	319	279	144	60		36,100		2	294	52	30	4		33				Spread/Wire Chain	8
P-19	Brazil	2,526	SS	BV	335	230	141	69		33,400		2	335	53	25	6		36				Taunt Leg/Wire Chain	16
P-20	Brazil	2,051	SS	DNV	318	325	135	67	11,023	25,983		2	264	52	25	4		42				S/Cable Chain	12
P-21	Brazil	367	SS	ABS	264	220	113	55		10,765		4	233	20	20	20		23				Spread/Wire Chain	8
P-22	Brazil	374	SS	ABS	315	275	166	80		17,440		3	60		25	3		35				Spread/Wire Chain	9
P-25	Brazil	827	SS	ABS	381	236	136	77		29,464	17,000	2	381	44	26	6		33				Norwich Double	12
P-26	Brazil	1,690	SS	DNV	302	234	103	60		27,656		2	301	49	39	6		32				Taunt Leg/Polyester	16
P-27	Brazil	1,740	SS	ABS	288	216	138	70		41,659		2	288	70	30	6		33				Taunt Leg/Polyester	12
P-40	Brazil	3,542	SS	ABS	406	275	130	70				3	406	50	30	13						Taunt Leg/Polyester	16
P-51	Brazil	1,225	SS	DNV	361	295	210	90	89,000	80,114		4					58		23,942			Taunt Leg	16
P-52	Brazil	5,888	SS	DNV	361	295	210	89	89,000	80,201		4					58		24,170			Taunt Leg	16
SNORRE B	Norway	1,150	SS					69		56,600	24,100	4	279	57		4	57	57	27,000	74,970	Spread/Wire Chain	16	
SS-11 (ATLANTIC ZEPHYR)	Brazil	413	SS	ABS	221	182	108	48	a600		12,270	2	202	32	28	8		32				Spread/Wire Chain	8
TAHARA	India	270	FPU	ABS	347	385	146	85		17,617		3	80	80	30	3		35				Spread/Wire Chain	9
THUNDER HAWK	US GOM	6,050	FPU	ABS	232	232	170	105	9,000	42,000	13,800	4	140	38	26	4	46	46	144	9,305	25,200	Spread/Polyester Chain	12
THUNDER HORSE	US GOM	6,065	SS-PDQ	ABS	538	413	361	99		130,000	120,000		360							50,500		Taunt Leg/Wire Chain	16
TROLL B	Norway	1,050	SS	DNV	335	335	213	131		188,968		4	295		75	4		95				Catenary	16
TROLL C	Norway	1,115	SS	DNV	298	331	158	69		54,377	14,000	4	298	55	28	4		55		18,963		Wire Chain	16
VESLEFRIKK B	Norway	574	SS	DNV	353	259	162	85		43,305		2	353	47	31	4		41				Spread/Wire Chain	12
VISUND	Norway	1,099	SS	DNV	398	331	168	69		52,600		4	298	55	28	4		55		25,200		Wire Chain	16
CALAJIT	N/A		SS	ABS	310	234	130			17,617		3	80	80	30	3		35				Spread/Wire Chain	8
DAI HUNG I	N/A		SS	ABS	355	221	120	70		19,327	76,061	2	355	36	22	8		26				Spread/Wire Chain	8
MOLLY BROWN (X-P-24)	N/A		SS	ABS	233	248	120	70		24,254	15,462	2	288	70	30	6		33				Linear Winch	8
CHEVIOT	UK	394	FPU	ABS																			
OPTI-EX	US GOM		SS	ABS	252	252	157	85	5,750	24,994		4	252	30	20	4	40	40	138		35,721	Taunt Leg	12
GUMUSUT	Malaysi	3,900	SS		262	262					17,637									18,700		Pile Mooring	8
JACK/ST. MALO	US GOM		SS																				
P-55	Brazil	5,599	FPU	BV	308	308	144	112						65	38	4							
P-56	Brazil	5,576	SS	DNV	361		410	90	50,000			4											

De manera gráfica, en la siguiente figura se muestra la localización de las plataformas semisumergibles enlistadas en la tabla anterior.

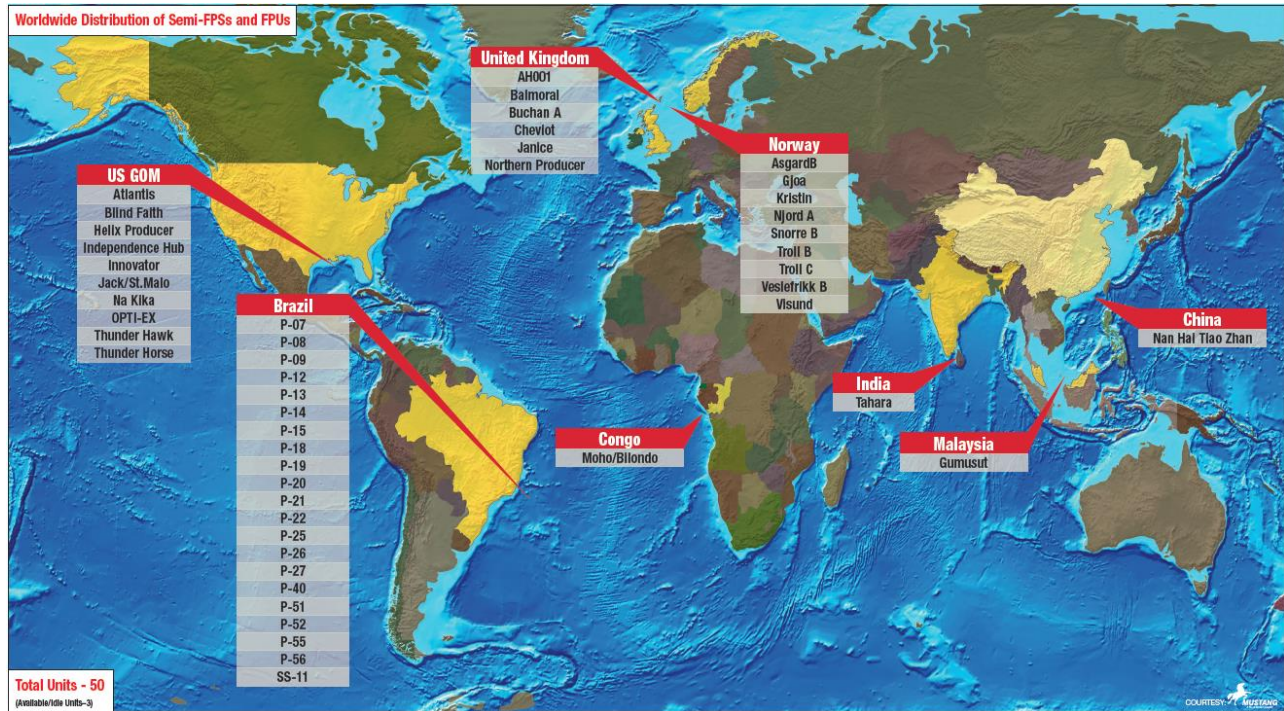


Figura 2.3 Localización de las plataformas semisumergibles SFP.
Recuperado de (<http://www.offshore-mag.com/>).

2.2 Normatividad

Los SFP son considerados como embarcaciones, por lo que tienen que diseñarse de acuerdo con las reglas de sociedades clasificadoras y al mismo tiempo deben cumplir con los requisitos de diseño de su normatividad.

Las sociedades clasificadoras más importantes están asociadas a la IACS, y son las siguientes:

- LR (Lloyd's Register of Shipping).
- DNV-GL (Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd).
- BV (Bureau Veritas).
- ABS (American Bureau of Shipping).
- NKK (Nippon Kaiji Kyokai).
- RINA (Registro Italiano Navale).
- KR (Korean Register of Shipping).
- CCS (China Classification Society).

- *RS (Russian Maritime Register of Shipping).*
- *CRS (Croatian Register of Shipping).*
- *IRS (Indian Register of Shipping).*
- *PRS (Polski Rejestr Statokow).*

Cada una de estas sociedades tiene sus códigos de diseño, que contiene las reglas para la certificación y clase de todo tipo de SFP.

Para las *MODU*, están las recomendaciones de la *IACS* e *IMO*, que a su vez *API*, *ABS* y *DNV-GL* toman como base para establecer sus reglas y recomendaciones de estabilidad y diseño.

En los incisos subsecuentes se comparan y resumen los requisitos más importantes que las sociedades clasificadoras indican en su normatividad. Se procuró resaltar los puntos más importantes y que más interesaba a los objetivos de esta investigación.

2.2.1 Regulaciones para estabilidad

En casi todas las normas de las sociedades clasificadoras enlistadas anteriormente, la regulación de los SFP del tipo semisumergible, se hace referencia a dos tipos de estructuras, las que son de perforación y se consideran que la estabilidad la proporcionan las columnas y las unidades que no son de perforación, pero tienen configuración y modo de operar similar.

Cada uno de estos sistemas, tiene recomendaciones muy particulares, dependiendo de la sociedad clasificadora en cuestión, pero se pueden englobar de manera general los requisitos y recomendaciones.

Los aspectos de la ingeniería estructural que deben cubrirse son los siguientes:

- Material.
- Resistencia estructural.
- Soldadura.
- Estabilidad en condición intacta y dañada.
- Airgap (con mareas de tormenta y astronómica).
- Integridad de la hermeticidad e impermeabilidad.

Los parámetros generales de diseño deben ser para:

- Material.
- Mamparos.
- Cargas (gravitacionales, viento, oleaje, corriente, vorticidad).

Los análisis estructurales, deberán revisarse para

- Condiciones de operación, transportación e instalación.
- Fatiga para una vida útil mínima.
- Estabilidad intacta y dañada (sin restricciones del sistema de amarre).

Los esfuerzos que deberán revisarse son:

- Esfuerzos globales máximos combinados
- Esfuerzos locales en condiciones de operación, transportación e instalación.

Para el caso particular de estabilidad, las normas estudiadas hacen mucho énfasis en ello, de hecho, es la parte principal y fundamental que deben cubrir los SFP. Hasta que no se cumplan los requisitos de estabilidad, no se puede proseguir el diseño.

El efecto más importante es el viento, que es lo que produce el momento de escora o volteo del SFP, a partir de las fuerzas de viento se construye las clásicas curvas de estabilidad, las cuales, involucra las condiciones dañada e intacta.

La capacidad del SFP para restituir el volteo, depende de las dimensiones del casco, el centro de gravedad y la capacidad de flotación del sistema. La flotación es función del volumen geométrico del sistema destinado a brindar la flotabilidad. La fuerza de flotación multiplicada por el brazo de palanca que se genera con respecto al centro de gravedad es lo que generan el adrizado del sistema o la recuperación de la línea vertical. Esta capacidad del sistema es conocida como momento adrizante.

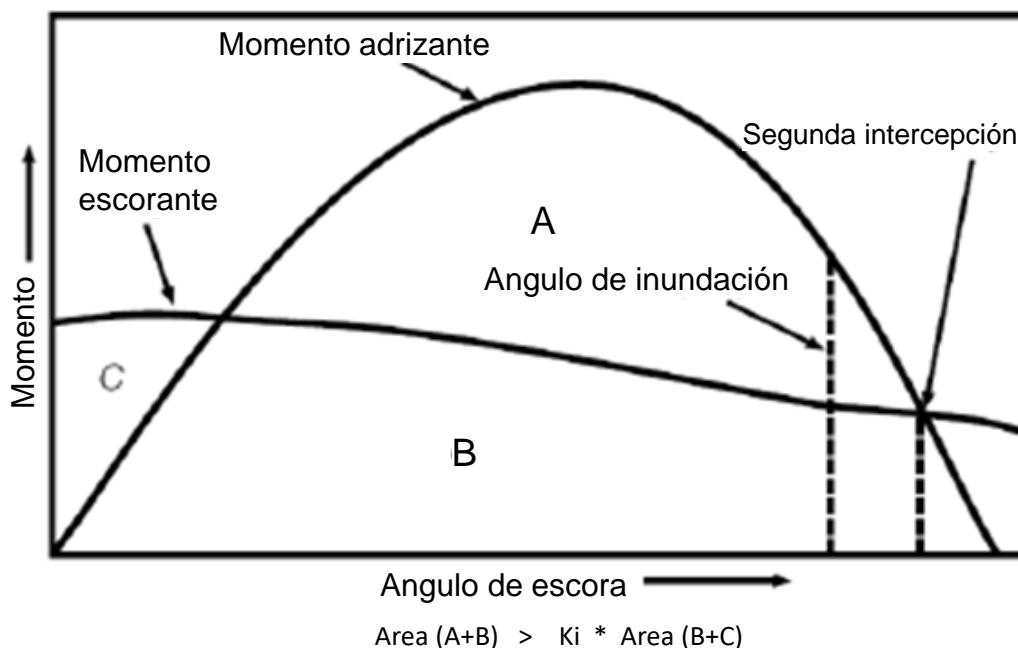


Figura 2.4 Curvas de momento adrizante y momento escorante.
(Modificado por el autor).

Ambos momentos, el actuante (escorado) y resistente (adrizado) se grafican respecto al ángulo de inclinación, y es lo que se conoce como las curvas de estabilidad. En la figura 2.4, se muestra una curva típica de estabilidad para la condición intacta, es decir, que el casco está íntegro desde el punto de vista estructural.

Se observa en la figura, que la suma de las áreas (A+B) debe ser mayor que la suma de las áreas (B+C) multiplicadas por un factor K_i . Este factor, varía según sea la norma que se esté utilizando.

Como ya se mencionó anteriormente, las curvas de estabilidad se construyen para los dos casos de revisión, en condición intacta y en condición de daño. La curva de condición intacta se puede observar en la figura 2.4 y para la condición dañada ver la figura 2.5.

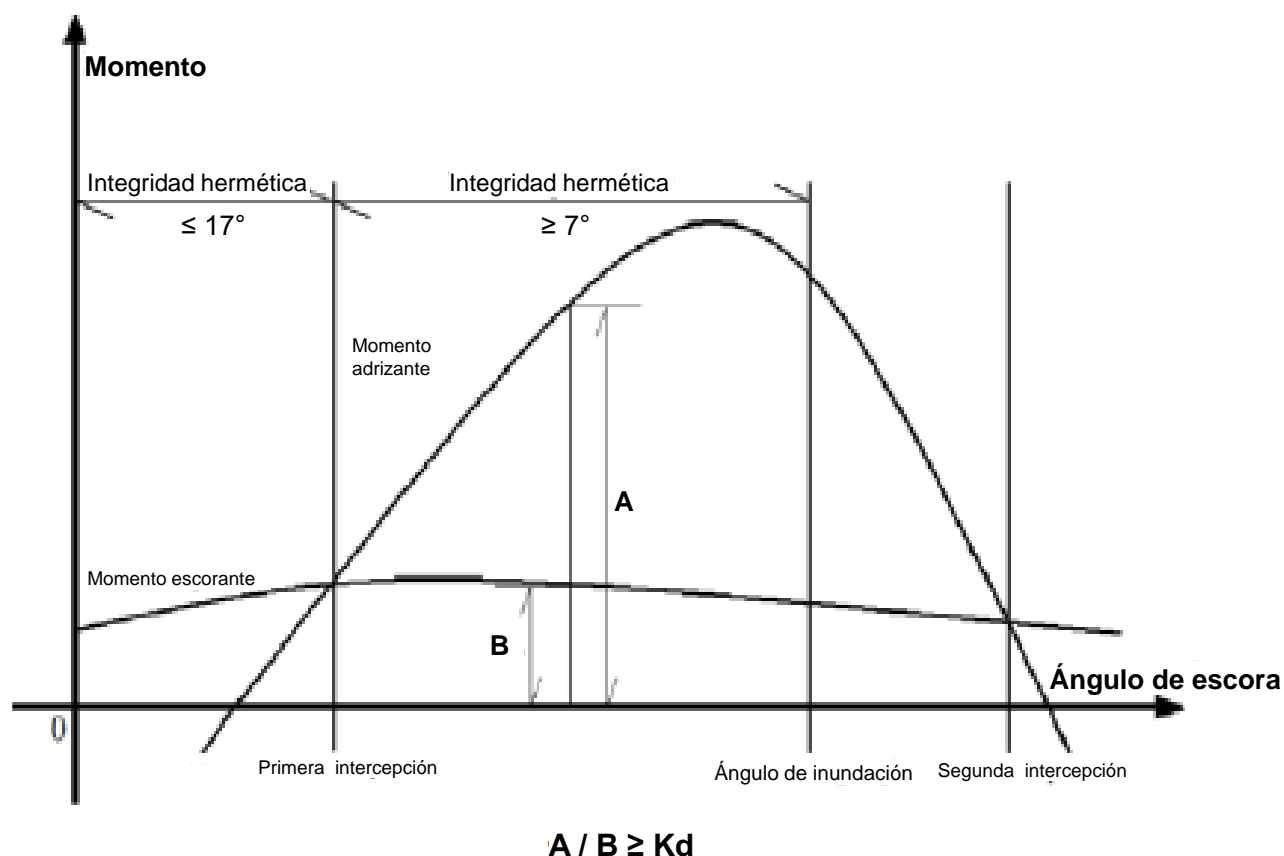


Figura 2.5 Curvas de estabilidad en condición de daño.
(Modificado por el autor).

La revisión de la estabilidad en condición de daño supone que una parte del casco, a cierta altura respecto al nivel medio del mar, exista una fractura o boquete producido por un accidente o colisión, por lo que en cierto ángulo de inclinación habrá inundación, lo que reduce la capacidad de flotación y disminuye su estabilidad. Es por lo que los cascos de los SFP se diseñan y configuran estructuralmente para tener tanques o subdivisiones

totalmente herméticos y estancas, con el fin de evitar la inundación progresiva y completa del todo el casco. De esta manera, se puede controlar el daño o inundación sólo en un sector del casco, y mediante el lastrado y llenado de tanques garantizar la estabilidad del sistema.

Las curvas de estabilidad son, de cierta manera, los requisitos implícitos, que cada una de las sociedades clasificadoras establecen a través de sus normas y que deben cumplir los SFP del tipo semisumergible estabilizados por columnas.

Dentro de la literatura revisada respecto a la normatividad que regula la estabilidad de los sistemas flotantes se encontró que la *BMT Fluid Mechanics Limited* por encargo de la *HSE (UK Health & Safety Executive)* realizó una comparación de distintas sociedades clasificadoras que regulan la estabilidad, tanto en condiciones intactas como condiciones dañadas.

Las sociedades clasificadoras comparadas con *HSE* y sus guías de diseño, son: *IMO MODU*, *ABS*, *DNV* y *LRS (Lloyd's Register of Shipping)*, *CCG (Canadian Coast Guard)* y *NMD (Norwegian Maritime Directorate)*.

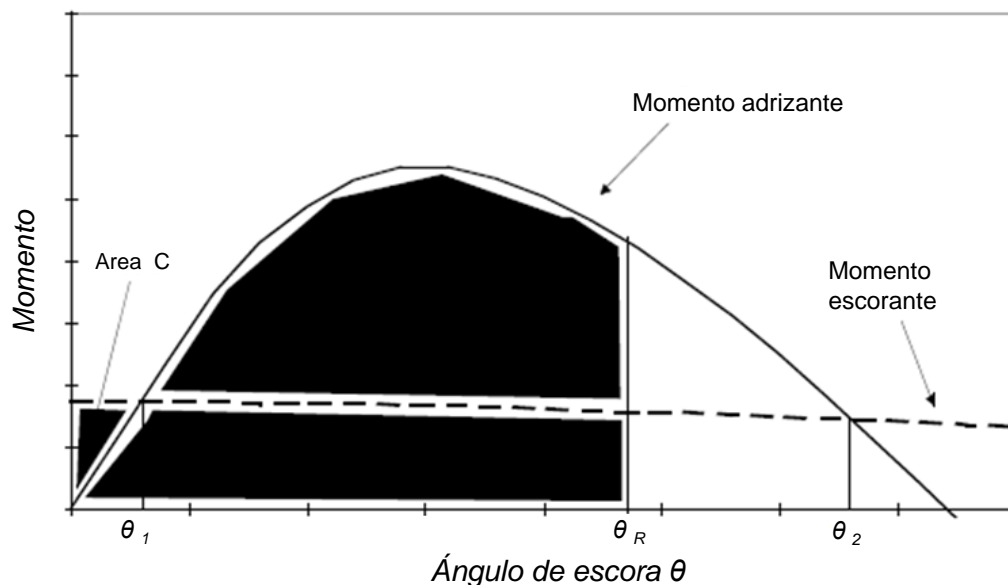


Figura 2.6 Curvas de estabilidad intacta de referencia para la comparativa de normas. (Modificado por el autor).

Las principales premisas de estabilidad surgen a partir de la figura 2.6, las cuales se enlistan a continuación.

- a. La relación de áreas de las curvas de momento adrizante y escorante tiene que satisfacer: $A+B \geq 1.3 (B+C)$
donde las áreas A , B y C son integradas hasta ángulo θ_R , el menor de: el segundo ángulo de intercepción θ_2 o el ángulo de inundación θ_b .
- b. El ángulo de escora estático θ_1 , debe ser más grande que 15° .
- c. La altura metacéntrica, GM , no debe ser menor que 1.0 m en condiciones de operación, tránsito o tormenta, y no menor que 0.3 m mientras cambia de calado entre estas condiciones.
- d. El parámetro GZ , brazo adrizante, debe satisfacer la relación $GZ \geq 0.5 Gm_0 \text{ sen}\theta$ en el rango $0 \leq \theta \leq$ (el mínimo de θ_b o θ_M o 15°), donde θ_M es el ángulo del nivel máximo de adrizado y GM_0 es el valor mínimo permisible de GM .

El criterio de la relación de áreas compara la energía potencial acumulada por la embarcación a través de su momento de restauración con el trabajo hecho por el momento escorante debido a una ráfaga de viento sostenido, la cual inclina la embarcación desde su posición vertical hasta un ángulo θ_R . El área $A+B$ representa la energía potencial de la embarcación y el área $B+C$ representa el trabajo hecho por el momento escorante debido al viento. El factor de seguridad 1.3 es común a las normas de todos los organismos reguladores considerados durante esta revisión, toma en cuenta las incertidumbres y los efectos dinámicos no considerados en el análisis de estabilidad.

En las siguientes tablas se comparan las regulaciones de estabilidad de las sociedades clasificadoras.

Tabla 2.8 Condiciones de viento especificadas para normas de estabilidad intacta y dañada.
(Modificado por el autor).

Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Velocidad del viento	Condiciones de operación	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)
	Condiciones de transportación	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)
	Condiciones de supervivencia	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)
	Localización protegida y condición dañada.	50 knots (25.8 m/s) sólo condición de daño	50 knots (25.8 m/s)	50 knots (25.8 m/s)	50 knots (25.8 m/s)	50 knots (25.8 m/s)	50 knots (25.8 m/s)
Métodos y direcciones	Método para determinar el momento escorante del viento.	Procedimiento de cálculo definido. Puede complementarse con pruebas de túnel de viento.	Cualquiera, pruebas de túnel de viento o cálculos.	Procedimiento de cálculo definido. Las pruebas de túnel de viento pueden considerarse como una alternativa.	Procedimiento de cálculo definido. Las pruebas de túnel de viento pueden considerarse como una alternativa.	Procedimiento de cálculo definido. Las pruebas de túnel de viento pueden considerarse como una alternativa.	Procedimiento de cálculo definido. Las pruebas de túnel de viento pueden considerarse como una alternativa.
	Dirección de viento y momento	El viento en cualquier dirección, para el cual el KG máximo tiene su valor más bajo.	Viento de cualquier dirección, la embarcación puede recortar libremente durante la inclinación.	Cualquier dirección que proporcione el eje más crítico (definido como el valor más bajo de KG). La unidad debe ser libre de recortar cuando se inclina.	Las curvas de momento escorante y restitución deben estar relacionadas con el eje más crítico (eje crítico no definido).	Viento de cualquier dirección para encontrar la más crítica (dirección crítica no definida).	Las curvas de momento escorante y restitución deben estar relacionadas con el eje más crítico (eje crítico no definido).

Tabla 2.9 Otros criterios normativos para estabilidad intacta y dañada.
(Modificado por el autor).

Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Otros requisitos	Efecto de líneas de amarre o propulsores	Líneas de amarre a descartar. Las fuerzas del propulsor se aplicarán a nivel del propulsor, y cualquier diferencia entre la fuerza máxima del viento y el empuje en el centro de la resistencia lateral.	Descarte las líneas de amarre, pero para DP tenga en cuenta la fuerza del viento reactivo que opera a nivel del propulsor.	El desplazamiento y KG deben tener en cuenta el peso de la línea de amarre. De otro modo, los amarres no deben tenerse en cuenta.	Para ser ignorado.	No debe tenerse en cuenta, aunque deben considerarse los efectos perjudiciales.	El desplazamiento y KG deben tener en cuenta el peso de la línea de amarre. De otro modo, los amarres no deben tenerse en cuenta.
	Ángulo de inundación mínimo, integridad estanca y hermética.	La integridad estanca se debe mantener en los compartimientos necesarios para cumplir con los estándares de estabilidad intacta y dañada. Cualquier abertura debajo de las líneas de flotación intacta y dañada con escora estática debe hacerse hermética. Las aberturas externas que se sumergen en el cumplimiento de los requisitos de relación de área deben ser herméticas. Cualquier abertura a menos de 4 m por encima de cualquier plano de agua dañado (después de la escora del viento) debe cumplir con el estándar de estanqueidad.	El cierre hermético significa que debe proporcionarse hasta las líneas de flotación de tación estáticas intactas y dañadas, y el cierre hermético significa hasta los ángulos asociados con los requisitos de estabilidad. La curva de momento de corrección se debe corregir para cualquier inundación progresiva.	Accesorios herméticos para ser instalados en aberturas que conducen a espacios requeridos para cumplir con los requisitos de estabilidad. Se prestará especial atención a las aberturas que no pueden cerrarse en emergencias.	Cualquier abertura debajo de las líneas de flotación intacta y dañada con escora estática se hará hermética. Aberturas para cajón de cadena u otros volúmenes flotantes para ser considerados como puntos de inundación. Parámetros de estabilidad que se calcularán hasta el menor de la segunda intersección y el ángulo de inundación (intacto) o integridad hermética (dañada).	Cualquier abertura debajo de la línea de flotación dañada con escora estática se hará hermética, y las aberturas a menos de 4 m por encima y 7 ° más allá de esta línea de flotación se impermeabilizarán. Parámetros de estabilidad que se calcularán hasta el menor de la segunda intersección y el ángulo de inundación (intacto) o integridad hermética (dañada).	Se requieren medios de cierre herméticos al menos hasta un ángulo de escora igual a la primera intersección en la condición intacta o dañada, lo que sea mayor. Se requieren medios de cierre herméticos hasta un ángulo de escora igual al ángulo dinámico. Esto también se aplica a cualquier abertura dentro de los 4 m por encima de la línea de flotación final.

Tabla 2.10 Normas para estabilidad intacta.
(Modificado por el autor).

Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Estándares de estabilidad intacta	Proporción del área bajo la curva de momento de adrizado con respecto al área bajo la curva de momento de escora por viento.	≥ 1.3	≥ 1.3	≥ 1.3	≥ 1.3	≥ 1.3	≥ 1.3
	Ángulo estático de escora por viento.	$\leq 15^\circ$	$\leq 17^\circ$	$\leq 15^\circ$	No especificado	No especificado	No especificado
	Ángulo de escora en la segunda intersección.	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado
	Mínimo GM.	≥ 1.0 m condiciones de operación, tránsito y supervivencia; ≥ 0.3 m condición temporal intermedia.	≥ 1.0 m condiciones de operación, tránsito y supervivencia; ≥ 0.3 m condición temporal intermedia.	≥ 1.0 m condiciones de operación, tránsito y supervivencia; ≥ 0.3 m condición temporal intermedia.	No especificado	≥ 0.0 m.	≥ 1.0 m condiciones de operación, tránsito y supervivencia; ≥ 0.3 m Todas las condiciones temporales.
	Momento de corrección mínimo o GZ.	Hasta el ángulo de inundación o palanca adrizante máxima, o hasta 15° , lo que sea menor: $GZ \geq 0.5 GM_0 \text{ sen}\theta$, donde GM_0 es el GM mínimo permitido.	Positivo sobre rango desde la vertical a la segunda intersección.	No especificado	Positivo sobre rango desde la vertical a la segunda intersección.	Positivo sobre rango desde la vertical a la segunda intersección.	Positivo sobre rango desde la vertical a la segunda intersección.

Tabla 2.11 Localización y extensión del daño periférico considerado.
(Modificado por el autor).

Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Localización de daños supuestos o inundaciones.	Número de compartimentos que se suponen inundados.	Cualquier compartimento dentro de una supuesta zona de daño.	Cualquier compartimento dentro de una supuesta zona de daño.	Cualquier compartimento dentro de una supuesta zona de daño.	Cualquier compartimento dentro de una supuesta zona de daño.	Cualquier compartimento dentro de una supuesta zona de daño.	Cualquier compartimento dentro de una supuesta zona de daño.
Extensión del daño supuesto.	Extensión circunferencial.	3 m a lo largo de la periferia.	3 m a lo largo de la periferia.	3 m a lo largo de la periferia.	1/8 de columna perimetral.	No especificado, aunque 1/8 del perímetro de la columna está implícito en el requisito de daño del mamparo.	3 m a lo largo de la periferia.
	Extensión vertical	3 m dentro de 5 m arriba y 3 m debajo del calado especificado.	3 m dentro de 5 m arriba y 3 m debajo del calado especificado.	Porciones expuestas no especificadas de columnas en la periferia, el casco y pontones inferiores en condiciones de lastrado ligero y de tránsito.	3 m dentro de 5 m arriba y 3 m debajo del calado especificado.	3 m dentro de 5 m arriba y 3 m debajo del calado especificado.	3 m dentro de 5 m arriba y 3 m debajo del calado especificado.
	Horizontal penetración.	1.5 m.	1.5 m.	1.5 m.	1.5 m.	1.5 m.	1.5 m.
	Mamparos.	No especificado	Se puede suponer que al menos un mamparo hermético está dañado.	No especificado	No se debe suponer que ningún mamparo vertical está dañado, excepto cuando la separación del mamparo es inferior a 1/8 del perímetro de la columna; entonces el mamparo debe considerarse dañado.	No se debe suponer que ningún mamparo vertical está dañado, excepto cuando la separación del mamparo es inferior a 1/8 del perímetro de la columna; entonces el mamparo debe considerarse dañado.	No especificado
Superficies planas estancas.	No especificado	No especificado	Suponga que está dañado si el plano se encuentra a 1,5 m por encima o por debajo de la línea de agua.	Suponga que está dañado si está dentro de la zona especificada.	Suponga que está dañado si está dentro de la zona especificada.	Suponga que está dañado si el plano se encuentra dentro de la región de arriba.	

Tabla 2.12 Normas de estabilidad para el daño periférico.
(Modificado por el autor).

Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Estándares de estabilidad dañada.	Relación entre el momento adrizante y el momento escorante del viento en algún ángulo dentro del rango de estabilidad positiva.	No especificado	No especificado	No especificado	≥ 2	≥ 2	≥ 2
	Zona de integridad estanca a la intemperie.	≥ 4 m por encima del plano de agua de cualquier daño.	≥ 0 m por encima de la línea de agua del daño final.	≥ 0 m por encima de la línea de agua del daño final.	Cualquier daño, ≥ 4 m por encima del plano de agua.	≥ 4 m arriba de la línea de agua y 7° más allá del daño final.	≥ 4 m por encima del plano de agua de cualquier daño.
	Ángulo estático sin viento.	$\leq 15^\circ$	No especificado	$\leq 15^\circ$	No especificado	No especificado	No especificado
	Ángulo estático con viento.	No especificado	$\leq 17^\circ$	No especificado	$\leq 17^\circ$	No especificado	$\leq 17^\circ$
	Rango de estabilidad positiva.			No especificado	$\geq 7^\circ$	$\geq 7^\circ$	$\geq 7^\circ$
	Proporción del área bajo la curva de momento adrizante con respecto al área bajo la curva de momento escorante del viento.	≥ 1.0	≥ 1.0	≥ 1.0	No especificado	No especificado	No especificado
	Requisitos adicionales para reserva de flotación.	No especificado	Rango positivo para la curva del brazo adrizante de al menos 10° entre la primera y la segunda intersección, en la condición dañada. La GZ debe estar al menos a 2.5 m dentro de este rango, y al menos 1.0 m de esta GZ debe surgir del volumen hermético por encima del nivel más bajo de la cubierta.	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado

Tabla 2.13 Localización y normas para un compartimento dañado.
(Modificado por el autor).

Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Ubicación de daños supuestos o inundaciones.	Número de compartimentos que se suponen inundados por causas distintas al daño periférico.	Cualquier compartimento estanco.	Cualquier compartimento debajo o parcialmente debajo de la línea de agua, o cualquiera que esté limitado por el mar o contenga tuberías conectadas al mar	No especificado	Cualquier compartimento estanco total o parcialmente por debajo de la línea de flotación, que es un cuarto de bombas, un cuarto de máquinas con sistema de enfriamiento de agua salada o un compartimento adyacente al mar.	Cualquier compartimento estanco total o parcialmente por debajo de la línea de flotación, que es un cuarto de bombas, un cuarto de máquinas con sistema de enfriamiento de agua salada o un compartimento adyacente al mar.	Cualquier compartimento estanco total o parcialmente por debajo de la línea de flotación, que es un cuarto de bombas, un cuarto de máquinas con sistema de enfriamiento de agua salada o un compartimento adyacente al mar.
Normas para inundaciones por causas distintas al daño periférico.	Ángulo estático sin viento.	Los mismos requisitos que 3, para daños periféricos en la línea de agua.	Los mismos requisitos que 3, para daños periféricos en la línea de agua.	No especificado	$\leq 25^\circ$	Los mismos requisitos que 3, para daños periféricos en la línea de agua.	$\leq 25^\circ$
	Rango de estabilidad positiva en el menor grado de integridad a prueba de intemperie y la segunda intersección.				$\geq 7^\circ$		$\geq 7^\circ$

Tabla 2.14 Requerimientos alternativos de estabilidad.
(Modificado por el autor).

Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Requisitos alternativos.	General.	No mencionado.	Se pueden considerar criterios alternativos, siempre que se mantenga un nivel equivalente de seguridad.	Pueden considerarse otros estándares de estabilidad y métodos para probar que se cumplen los criterios de estabilidad, siempre que se mantenga un nivel equivalente de seguridad.	Se pueden considerar criterios alternativos, siempre que se mantenga un nivel equivalente de seguridad.	Se pueden considerar criterios alternativos, siempre que se mantengan los momentos adrizante adecuados, con márgenes suficientes para impedir la inundación y volcar en condiciones intactas y dañadas.	Se pueden considerar criterios alternativos, siempre que se mantenga un nivel equivalente de seguridad.
	Estabilidad intacta.	No mencionado.	No mencionado.	No mencionado.	El folleto ofrece un ejemplo, que se puede aplicar a un semisumergible de doble casco. Se especifican criterios separados de volcado e inundado.	Se refiere a la Guía de ABS sobre Criterios Alternativos de Estabilidad Intacta para Unidades Estabilizadas de Columna.	No mencionado.
	Estabilidad dañada.	No mencionado.	No mencionado.	No mencionado.	Resolución A.651 (16): un ejemplo de criterios alternativos de estabilidad dañados, aplicable a las unidades semisumergibles que tienen volúmenes flotantes contenidos en una estructura de cubierta superior estanca.	No mencionado.	No mencionado.

Tabla 2.15 Requerimientos de la curva límite de flotación KG.
(Modificado por el autor).

Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Requisitos de curva límite de KG	Condición de tormenta severa.	Curva de KG máximo para cumplir con los criterios mínimos de GM y estabilidad intacta para una velocidad del viento de no menos de 100 nudos. Requisitos adicionales para borradores intermedios.	Similar al HSE, pero se aplican criterios de estabilidad dañados con una velocidad del viento de 70 nudos si una embarcación está al costado o si se realizan otras actividades peligrosas. Requisitos adicionales para calados intermedios.	Curva de KG máximo para cumplir con los criterios mínimos de GM y estabilidad intacta para una velocidad del viento de no menos de 100 nudos. Requisitos adicionales para lastrados intermedios.	No especificado	No especificado	Similar a HSE.
	Condiciones de operación.	Una curva de KG máximo para cumplir con lo más crítico de lo siguiente: • Criterios de estabilidad intactos con una velocidad del viento no inferior a 70 nudos. • Cumplimiento de los criterios de estabilidad dañados. • Mantenimiento de mínimo GM.	Una curva de KG máximo para cumplir con lo más crítico de lo siguiente: • Criterios de estabilidad intactos con una velocidad del viento no inferior a 70 nudos. • Cumplimiento de los criterios de estabilidad dañados. • Mantenimiento de mínimo GM.	Valores máximos de KG según los criterios de estabilidad intactos con una velocidad del viento no inferior a 70 nudos y criterios de estabilidad dañados con viento de 50 nudos.	No especificado	No especificado	Similar a CCG.
	Condición temporal	Se relaciona con la estabilidad intacta con una velocidad del viento de 70 nudos y un GM relajado, y con la estabilidad dañada con inundación de un solo compartimiento, pero ignorando el límite de 15° en la quilla después de la inundación.	El KG máximo debe cumplir con los criterios de estabilidad intactos con una velocidad del viento no inferior a 70 nudos. Criterios dañados con una velocidad del viento de 70 nudos también se aplican si un barco está de costado.	Valores máximos de KG de acuerdo con los criterios de estabilidad intactos con viento de 70 nudos.	No especificado	No especificado	Similar a CCG, con un mínimo GM = 0.3m.

Tabla 2.16 Requerimientos adicionales de la curva límite de flotación KG.

(Modificado por el autor).

Tabla A9. Otros requisitos de curva límite de KG.							
Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Requisitos de curva límite de KG.	Rango de condiciones.	Rango completa de lastrados desde ligeros hasta máximos. Curvas correspondientes a: la condición de tormenta severa; el más crítico de las condiciones intactas de operación y tránsito, daños y mínimo GM; y condiciones temporales intermedias.	Para cubrir el rango relevante de corrientes intactas de operación, tránsito, supervivencia y temporales, y curvas de estabilidad dañadas separadas para un rango de corrientes correspondientes a las condiciones de daño.	Para cubrir el rango relevante de condiciones de operación y tránsito intactas y dañadas, condiciones de tormenta severa temporal e intactas.	El KG máximo se definirá en relación con el lastrado u otros parámetros, y se basará en el cumplimiento de los criterios intactos y dañados.	KG máximo permitido versus curvas de lastrado o equivalentes, y limitaciones o supuestos asociados en los que se basa el KG permitido.	Para cubrir el rango relevante de condiciones de operación y tránsito intactas y dañadas, condiciones de supervivencia intactas temporales e intactas.
	Efectos de superficie libre.	Una corrección para los efectos de superficie libre no debe incluirse en las curvas límite de KG, pero debe tenerse en cuenta en los cálculos a bordo.	Una corrección para los efectos de superficie libre no debe incluirse en las curvas límite de KG, pero debe tenerse en cuenta en los cálculos a bordo.	Una corrección para los efectos de superficie libre no debe incluirse en las curvas límite de KG, pero debe tenerse en cuenta en los cálculos a bordo.	No especificado	No especificado	Una corrección para los efectos de superficie libre no debe incluirse en las curvas límite de KG, pero debe tenerse en cuenta en los cálculos a bordo.

2.2.2 Regulaciones respecto a los análisis y diseño estructural

De la misma forma que las regulaciones para estabilidad, las sociedades clasificadoras emiten recomendaciones y requisitos para el análisis y diseño estructural de los SFP.

Normalmente estas normas utilizan el método LRFD y aplican para las condiciones en sitio, transportación y tormenta extrema, como es el caso de la norma *DNV-GL-OS-C101 (2016, p. 23)*, la cual recomienda lo siguiente.

Los criterios de diseño están basados en los principios de los siguientes estados límite:

- *Estado límite último (ULS)*
- *Estado límite de fatiga (FLS)*
- *Estado límite accidental (ALS)*
- *Estado límite de servicio (SLS)*

Para cada uno de estos estados límite se incluyen las consideraciones siguientes:

- Resistencia y respuesta estructural en condición intacta
- Resistencia y respuesta estructural en condición dañada
- Air-Gap
- Estabilidad hidrostática e integridad de la estanqueidad.

En la siguiente tabla, se indica los estados límite para varias condiciones de diseño.

Tabla 2.17 Condiciones de diseño y estados límite (DNVGL-RP-C103-2015, p. 7).
(Modificado por el autor).

ESTADOS LÍMITE	CONDICIONES DE ANÁLISIS Y DISEÑO					
	Instalación	Operación	Supervivencia	Transportación	Accidental	Daño
Último (ULS)	x	x	x	x		
Fatiga (FLS)	(x)	x	(x)	(x)		
Accidental (ALS)					x	x

Otras prácticas de diseño: DNVGL-OS-C101 (2016), DNVGL-OS-C103 (2015) Y DNVGL-OS-C201 (2015), establecen las recomendaciones mínimas para el cálculo de las cargas y condiciones ambientales, parámetros para oleaje regular, irregular y extremo, teorías de oleaje aplicable, estados de mar a largo plazo, etc. Todo esto va enfocado a obtener la respuesta global de la estructura y se hablan de 3 tipos de análisis:

- Análisis estocástico de fatiga.
- Análisis con la ola de diseño o en tormenta extrema.
- Análisis con oleaje regular o en operación.

Tabla 2.18 Condiciones de diseño y estados límite recomendados (DNVGL-OS-C103-2015, p. 34).
(Modificado por el autor).

DESCRIPCIÓN	SEMISUMERGIBLE CON DOS PONTONES			SEMISUMERGIBLE CON PONTONES EN ANILLO			
	Modelo hidrodinámico (Morison)	Modelo global de resistencia estructural	Método de fatiga	Modelo hidrodinámico (Morison)	Modelo global de resistencia estructural	Método de fatiga	
Ambiente hostil, áreas restringidas o en todo el mundo	X	1	4	6	1	5	7
	Y	1	4	7	1	5	7
Áreas tranquilas	X	2	3	6	1	5	7
	Y	1	4	6	1	5	7

Definiciones
X = unidad siguiendo los intervalos normales de inspección de clase (inspección en aguas protegidas o dique seco cada 4 a 5 años).
Y = unidad ubicada por un período más largo en la ubicación. La inspección es realizada en el agua, en el sitio de operación.

Modelos hidrodinámicos.

- 1) Modelo híbrido. Parte sumergida y/o Morison (cuando sea relevante, para el cálculo de la fuerza de arrastre).
- 2) Modelo Morison con factor de contingencia 1.1 para USL y FLS. El factor de contingencia se aplicará además de los factores de carga relevantes.

Modelo estructural global.

- 3) Modelo de viga.
- 4) Modelo combinado de viga y cascarón o panel. El alcance de los modelos de viga y cascarón o panel puede variar según el diseño. Para estructuras de vigas típicas, sólo puede ser aceptable un modelo de vigas .
- 5) Modelo completo de cascarón o panel.

Método de fatiga.

- 6) Análisis de fatiga simplificado.
- 7) Análisis de fatiga estocástico, basado en un proceso de detección con enfoque para identificar detalles críticos

Ambiente hostil, áreas restringidas o en todo el mundo.

- Unidades (X), diseñadas para funcionar según los requisitos mundiales que se proporcionan en DVN-RP-C205.
- Unidades (Y), diseñadas para operar según los requisitos específicos del sitio.

Aguas tranquilas.

- Unidades (X), diseñadas para operar en base a criterios específicos del sitio para aguas tranquilas.
- Unidades (Y), diseñadas para operar en base a criterios específicos del sitio para aguas tranquilas.

Con respecto al análisis estocástico de fatiga, se aplican la densidad espectral de oleaje para el cálculo de la respuesta estocástica a corto y largo plazo. El análisis en el dominio de la frecuencia es el más adecuado para obtener la respuesta de los sistemas, en flotación libre.

En la figura 2.7 se describe de manera gráfica el procedimiento.

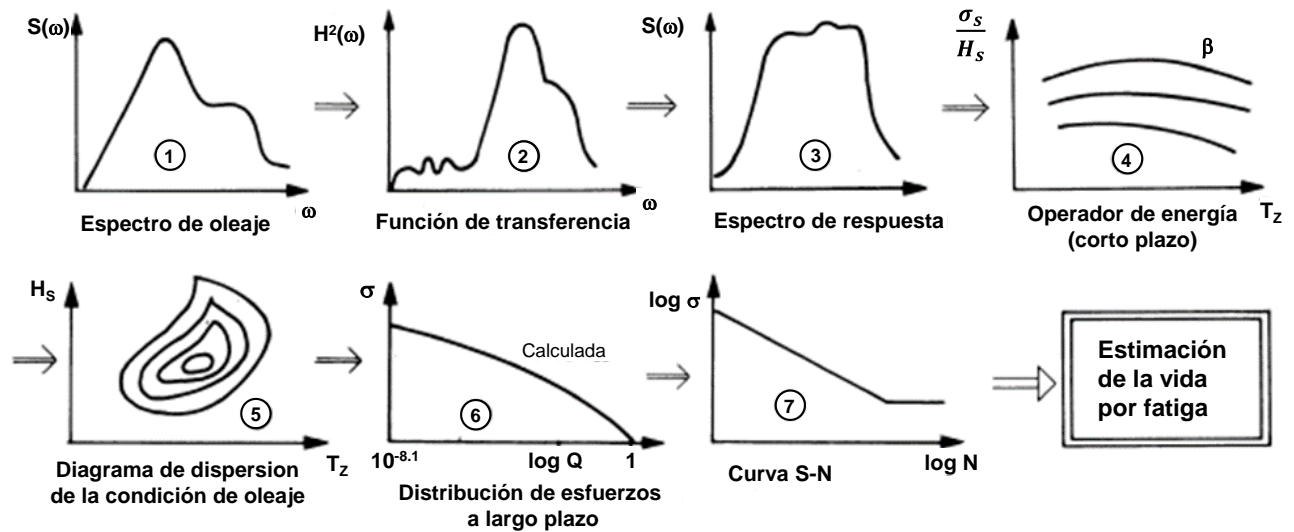
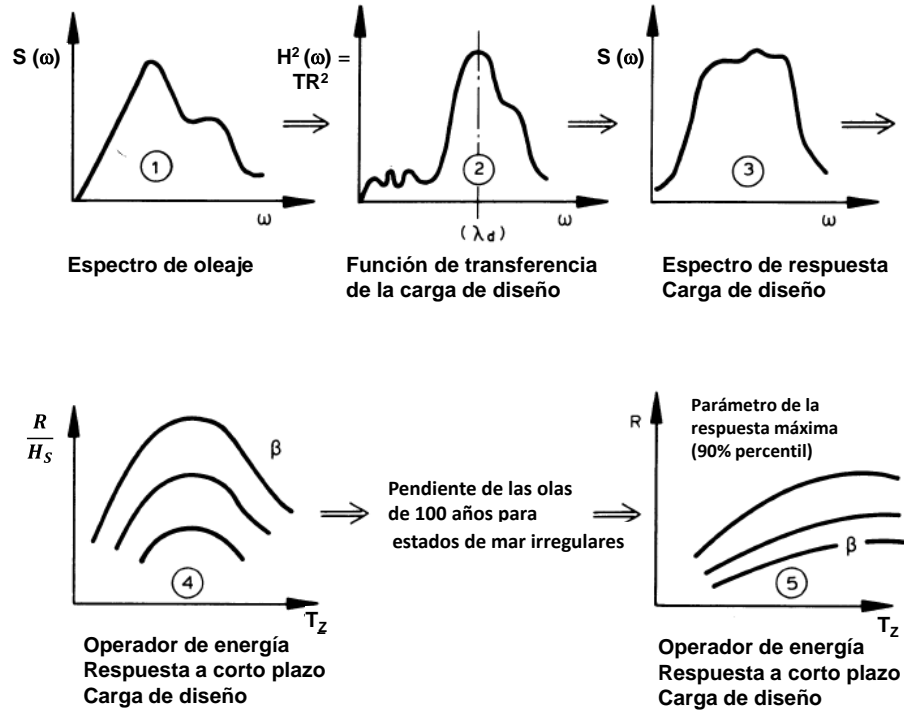


Figura 2.7 Procedimiento de análisis estocástico de fatiga (DNVGL-RP-C103-2015, p. 24).
(Modificado por el autor).

El análisis con la ola de diseño o en condición de tormenta requiere satisfacer respuestas simultáneas, por lo que *DNV* adopta el enfoque de la ola de diseño para determinar los esfuerzos máximos. Las ventajas del enfoque estocástico se aprovechan mediante el uso de los valores estocásticos extremos de algunos parámetros característicos de la respuesta en la selección de los parámetros de la ola de diseño.

En la figura 2.8 se muestra de manera gráfica el procedimiento de análisis en condiciones de tormenta.



⑥ Ola de diseño
Longitud de ola: λ_d

Amplitud de ola : $\frac{\text{Respuesta máxima}}{TR}$

⑦ Cálculo de esfuerzos utilizando un modelo global con cargas hidrodinámicas a partir del análisis de la ola de diseño

Figura 2.8 Procedimiento de análisis en condiciones de tormenta (DNVGL-RP-C103-2015, p. 25).
(Modificado por el autor).

De esta manera, DNV señala que las características de la respuesta hidrodinámica global están en función de las resistencias globales de la estructura, ver figura 2.9.

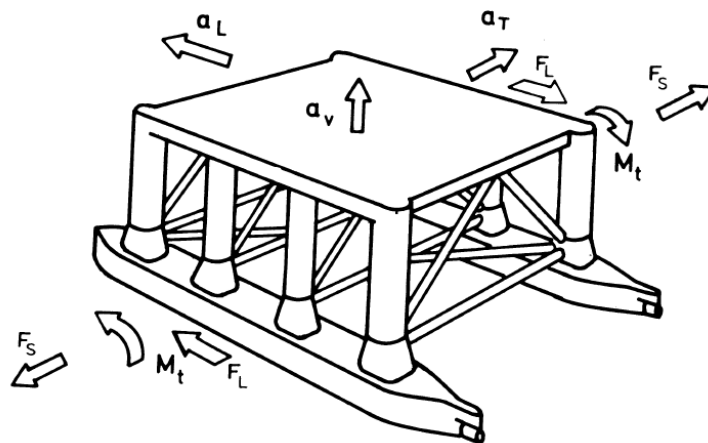


Figura 2.9 Respuestas hidrodinámicas globales (DNVGL-RP-C103-2015, p. 27).
(Modificado por el autor).

Por lo tanto, las respuestas del casco de un SFP tipo semisumergible o estabilizado por columnas se resumen en los siguientes puntos:

I. Fuerza de separación entre pontones, F_s

El valor crítico para esta respuesta ocurre cuando la incidencia del oleaje es a 90° o transversal, con una longitud de ola del doble de la anchura exterior de los pontones, ver figura 2.10.

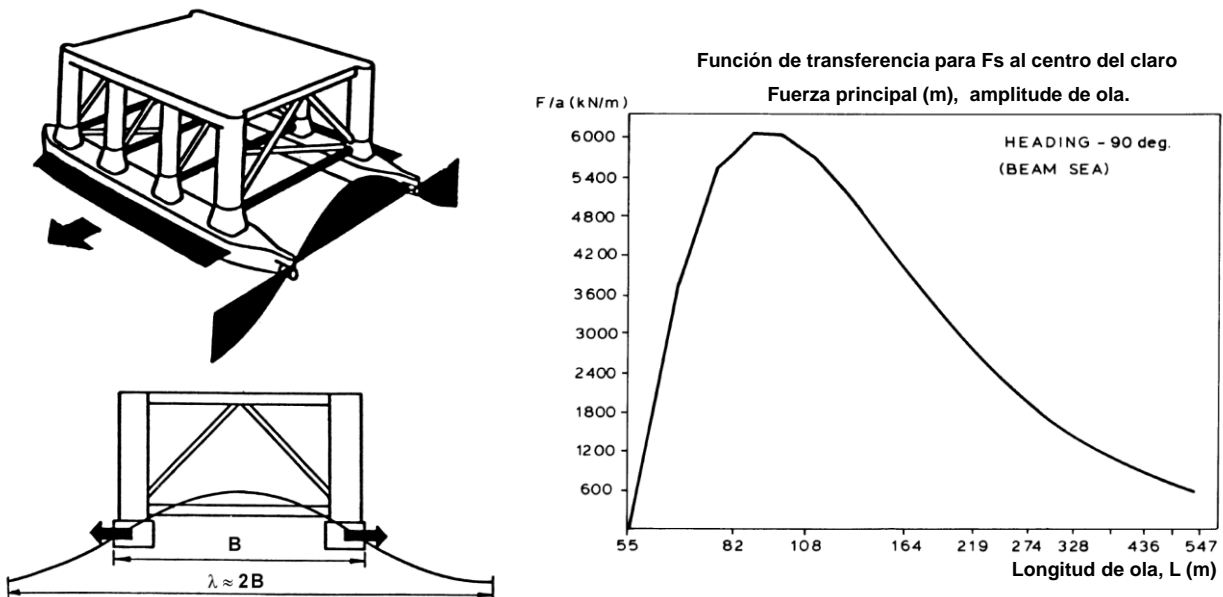


Figura 2.10 Función de transferencia para F_s (DNVGL-RP-C103-2015, p. 28).
(Modificado por el autor).

II. Momento torsionante en los pontones, M_t

El máximo momento se presenta cuando el oleaje incide de 45° a 60° y la longitud de la ola es aproximadamente la distancia diagonal entre los extremos opuestos de los pontones o de las columnas del casco, ver figura 2.11.

III. Fuerza cortante longitudinal entre pontones, F_L .

El valor crítico para esta respuesta será normalmente con una incidencia en el oleaje de 45° a 60° y con una longitud de ola de 1.5 veces la distancia entre la distancia diagonal de los extremos de los pontones, ver figura 2.12.

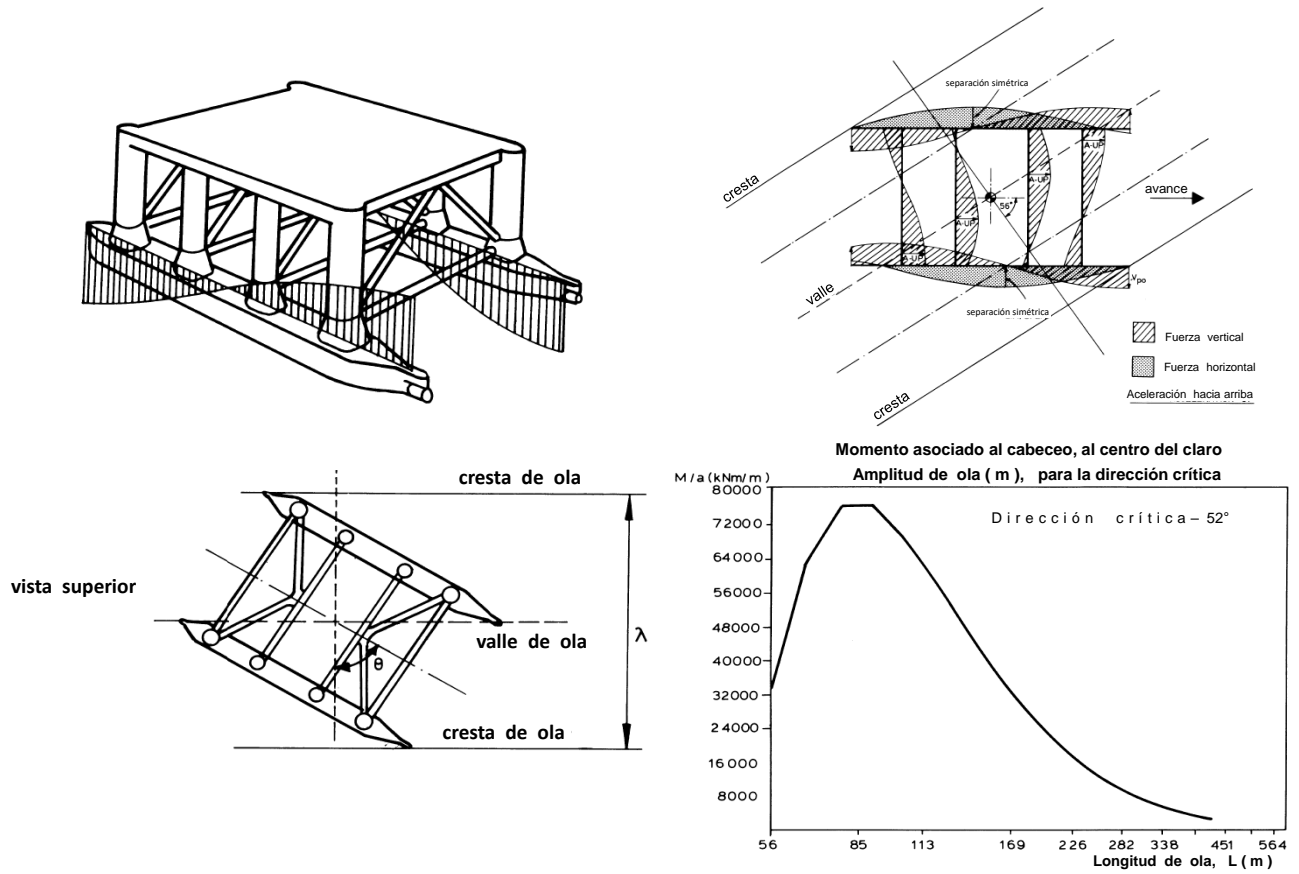


Figura 2.11 Función de transferencia para M_i con oleaje en diagonal sobre la plataforma (DNVGL-RP-C103-2015, p. 29). (Modificado por el autor).

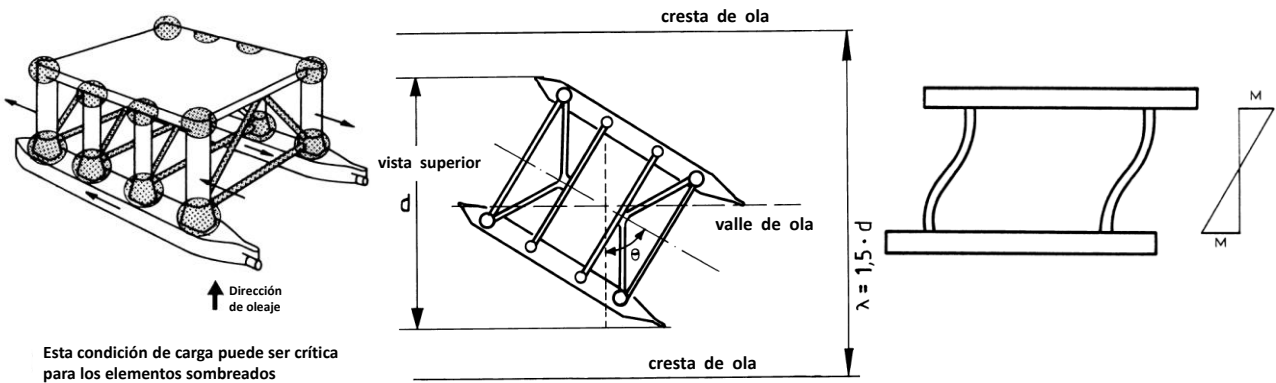


Figura 2.12 Fuerza cortante y desplazamientos longitudinales (Momentos por cortante M_s) (DNVGL-RP-C103-2015, p. 31). (Modificado por el autor).

IV. Aceleración longitudinal de la masa de la cubierta

La aceleración máxima ocurre cuando el oleaje incide longitudinalmente. Los valores típicos, según DNVGL-RP-C103-2015 (p. 31), son del orden de 0.2 g a 0.25 g para condiciones extremas y de 0.1 g a 0.15 g en condiciones de operación.

La respuesta introduce desplazamientos longitudinales debido a aceleraciones de la masa en la cubierta y el área asociada. La aceleración longitudinal de la masa de la cubierta introduce fuerzas cortantes y momentos flexionantes en los extremos de las columnas, ver figura 2.13.

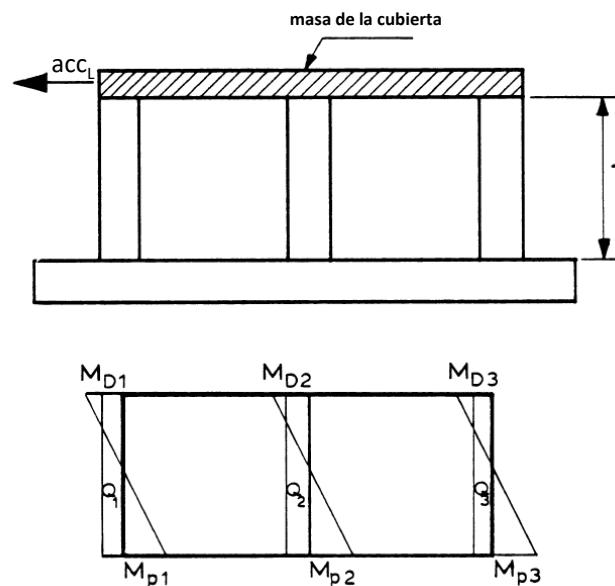


Figura 2.13 La aceleración genera desplazamientos longitudinales (momentos y cortantes en columnas) (DNVGL-RP-C103-2015, p. 32). (Modificado por el autor).

V. Aceleración transversal de la masa de la cubierta

Los valores críticos para esta respuesta ocurren cuando el oleaje incide transversalmente. Es común que se presente ante calado mínimo. Los valores típicos son del orden de 0.15 a 0.20 g para condiciones extremas y de 0.1 a 0.15 g en condiciones de operación, según DNVGL-RP-C103-2015 (p. 31). Estos valores son característicos para sistema rectangulares con dos ejes de simetría.

De manera similar a la dirección longitudinal, se introducen desplazamientos transversales, ver figura 2.14.

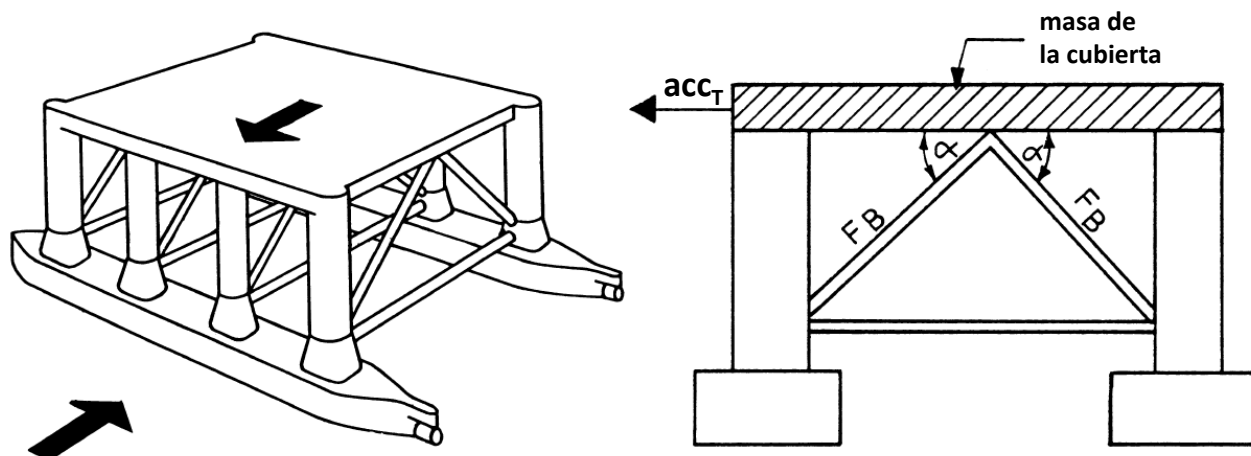


Figura 2.14 La aceleración genera desplazamientos transversales (DNVGL-RP-C103-2015, p. 32 y 33).
(Modificado por el autor).

VI. Aceleración vertical de la masa de la cubierta

La respuesta no es crítica para los elementos de la estructura que están en condición sumergida. Los valores máximos en condiciones extremas de acuerdo con DNVGL-RP-C103-2015 (p. 33) son de 0.2 a 0.25 g, ver figura 2.15.

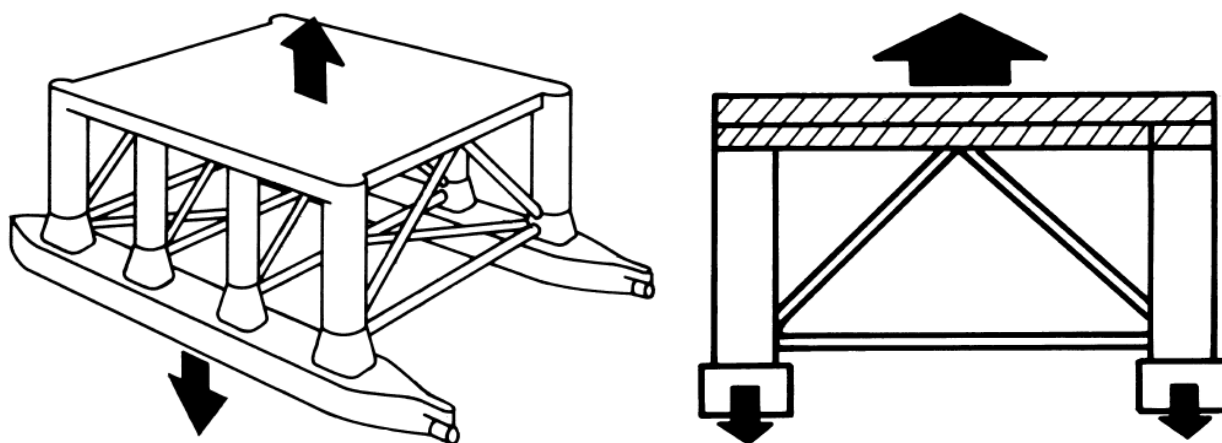


Figura 2.15 Aceleración vertical (DNVGL-RP-C103-2015, p. 33).

VII. Momento de flexión de oleaje vertical en el pontón

Esta respuesta se alcanzará cuando el oleaje incide longitudinalmente. La longitud de ola será ligeramente mayor a la longitud del pontón.

El momento a flexión por oleaje deberá establecerse con la altura de la cresta a mitad del pontón, resultando en un momento de flexión simétrico.

Para pontones con tres o más columnas, el momento de flexión debe además ser establecido con los puntos de inflexión a mitad de la parte del pontón entre columnas, dando un momento de flexión asimétrico, ver figura 2.16.

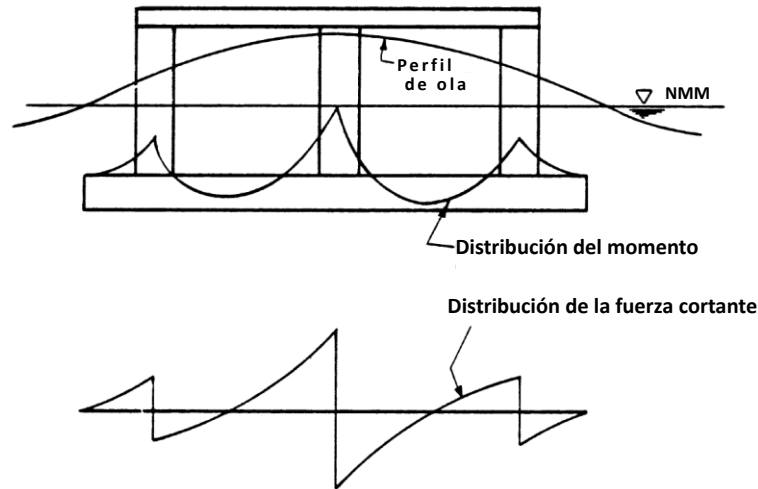


Figura 2.16 Momento de flexión de oleaje vertical (DNVGL-RP-C103-2015, p. 34).
(Modificado por el autor).

VIII. Respuesta estática global característica

La respuesta estática es debido a cargas permanentes (peso ligero), cargas variables y cargas de deformación. Las cargas variables en áreas de cubiertas para el diseño global están dadas en DNVGL-OS-C101-2016. También debe considerar el peso de lastrado de los tanques máximo y mínimo y sumar el efecto del paso de la ola, ver figura 2.17.

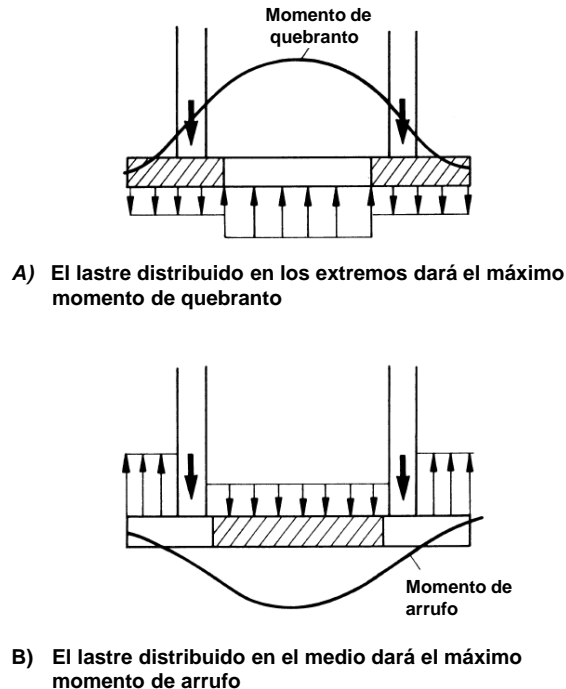


Figura 2.17 Distribuciones de lastrado en los pontones (DNVGL-RP-C103-2015, p. 34).
(Modificado por el autor).

2.3 Resumen

De la información analizada, se trabajó en dos vertientes: publicaciones referentes al diseño óptimo de SFP tipo semisumergible y la normatividad que las regula.

Con respecto a las publicaciones revisadas se puede concluir lo siguiente:

Para optimizar el diseño de un FPS, se puede recurrir a las teorías de optimización, determinando una función objetivo, o implementar un procedimiento o metodología que ayude agilizar el diseño. Cualquiera que sea la opción, las variables principales de control son:

- Respuesta hidrodinámica (6 grados de libertad).
- Control de peso (dimensiones del casco).
- Estabilidad hidrostática (calado, air gap, metacentro, etc.).

En específico, para FPS tipo semisumergible se buscan controlar la respuesta (*RAO*) del movimiento vertical (*arfada*), ya sea mediante la reducción de la rigidez del casco, aumento de la masa adherida, o aumento del amortiguamiento.

Para controlar las variables anteriores y obtener las dimensiones de casco que minimice las respuestas, se deben controlar los siguientes aspectos:

- Optimización paramétrica para la generación automática de la forma de casco.
- Análisis hidrodinámico de una geometría arbitraria del casco.
- Obtener el valor mínimo más probable de las respuestas máximas de todas las variables involucradas.

Se buscó toda la información disponible en medios electrónicos de las plataformas semisumergibles diseñadas, construidas y operando en la actualidad a nivel mundial, con el fin de ubicar los valores máximos y mínimos de las principales variables que rigen el diseño del casco.

Gran parte de esta información se extrajo de la página web de la revista “*Offshore magazine*” y se resume en las siguientes tablas.

Tabla 2.19 Resumen de datos de plataformas semisumergibles.

 Recuperado de (www.offshore-mag.com/.../1101SemiFloatVesselPoster.pdf). (Modificado por el autor).

Nombre	Tirante (m)	Dimensiones				Calado _{MAX} Operación (m)	W _{EQUIPO} (ton)	Desplazamiento (ton)	Peso Muerto DWT (ton)	Pontones					Columnas				Cubiertas	
		L (m)	B (ft)	B (m)	H (m)					No.	L (m)	B (ft)	B (m)	H (m)	No.	L (m)	B (m)	H (m)	W _{OPERACIÓN} (ton)	A _{CUBIERTA} (m ²)
ATLANTIS	2156	129	390	119	90	26	58700	89000	35500	4	90	65	20	10	4	20	20	33	25500	3995
BLIND FAITH	1979						10624	40000		4	66	44	13	7	4	7	7	46	9600	
GJOA	360	100	328	100				58400	20650	4	85	58	18	9	4	18	18	40	22000	9357
NA KIKA	1932		184	56	142	27	20000	64000		4		41	12	11	4	17	17	43	12112	8994
P-51	373	110	295	90	64	27	89000	80114		4					4	18	18		23942	
P-52	1795	110	295	90	64	27	89000	80201		4					4	18	18		24170	
SNORRE B	351					21		56600	24100	4	85	57	17	17	4	17	17		27000	6965
THUNDER HAWK	1844	71	232	71	52	32	9000	42000	13800	4	43	38	12	8	4	14	14	44	9305	2341
TROLL B	320	102	335	102	65	40		188968		4	90				23	4	29	29		0
TROLL C	340	91	331	101	48	21		54377	14000	4	91	55	17	9	4	17	17		18963	
VISUND	335	121	331	101	48	21		52600		4	91	55	17	9	4	17	17		25200	
OPTI-EX		77	252	77	48	26	5750	24994		4	77	30	9	6	4	12	12	42		3319
P-56	1700	110			125	27	50000			4					4					

Tabla 2.20 Resumen de datos de plataformas semisumergibles.

 Recuperado de (http://petrowiki.org/File%3ADevol2615_1.png). (Modificado por el autor).

Diseñador	Modelo	Cantidad	Año de construcción	Costo inicial	Tirante	Dimensiones			Calado	Desplazamiento	VDL
				(M\$)	(m)	L(m)	B(m)	H(m)	(m)	(t)	(t)
AKER	H-3	30	1974-1981	28	183	108	67	37	21.34	24,131	3,048
FOREX NEPTUNE	Penatgone	11	1973-1977	20	201	103	99	41	22.34	15,695	2,312
FRIEDE GOLDMAN	Pacesetter	5	1974-1976	30	183	79	66	34	18.29	19,684	1,727
FRIEDE GOLDMAN	Enhanced Pacesetter	33	1976-1991	40	201	79	61	34	21.34	21,654	2,540
KORKUT ENGINEERS	New era	5	1974-1983	28	183	99	61	29	16.76	22,370	2,439
NOBLE DRILLING	EVA 4000	5	Conv. 1998-1999	142	1372	106	100	40	24.38	26,925	4,522
ODECO	Victory	11	1972-1975	20	183	98	89	39	21.34	23,498	2,286
ODECO	Odyssey	5	1983-1988	65	1524	119	79	43	24.38	43,721	7,112
READING & BATES	RBS-8	2	2001-2002	335	3048	114	78	41	23.01	50,267	9,397
SEDCO	700	11	1973-1983	30	183	75	70	27	25.91	22,709	3,455
SEDCO FOREX	Express	3	2000	325	1829	106	69	34	19.99	34,471	6,000
TROSVIK	3000	5	1982-1983	75	457	105	79	36	23.47	27,661	2,898
TROSVIK	8000/9000	3	1999-2001	275	1524	110	75	45	23.77	52,597	7,000

Con esta información, se inició la siguiente etapa, donde fue necesario parametrizar el rango de algunas variables que deberían influir en la respuesta de la estructura.

Referente a la normatividad que regula el diseño y análisis de los SFP, la parte de interés al desarrollo de este trabajo es la que regula la estabilidad de los SFP y los requisitos para la elaboración de los análisis hidrostáticos e hidrodinámicos. Los requisitos para el análisis de estabilidad se resumen en la tabla 2.21.

En conclusión, con la información obtenida de la investigación bibliográfica, se tuvieron los elementos para el desarrollo de la herramienta computacional para la optimización de cascos de SFP tipo semisumergibles.

Tabla 2.21 Resumen de requisitos de estabilidad de distintas normas de las tablas 2.8 a 2.16
 (Modificado por el autor).

Requerimiento de la autoridad		HSE 4ª Edición	NMD	CCG	IMO	ABS	DNV
Velocidad del viento	Condiciones de operación	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)
	Condiciones de transportación	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)	70 knots (36 m/s)
	Condiciones de supervivencia	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)	100 knots (51.5 m/s)
	Localización protegida y condición dañada.	50 knots (25.8 m/s) sólo condición de daño	50 knots (25.8 m/s)	50 knots (25.8 m/s)	50 knots (25.8 m/s)	50 knots (25.8 m/s)	50 knots (25.8 m/s)
Estándares de estabilidad intacta	Proporción del área bajo la curva de momento de adrizado con respecto al área bajo la curva de momento de escora por viento.	≥ 1.3	≥ 1.3	≥ 1.3	≥ 1.3	≥ 1.3	≥ 1.3
	Ángulo estático de escora por viento.	$\leq 15^\circ$	$\leq 17^\circ$	$\leq 15^\circ$	No especificado	No especificado	No especificado
	Mínimo GM.	≥ 1.0 m condiciones de operación, tránsito y supervivencia; ≥ 0.3 m condición temporal intermedia.	≥ 1.0 m condiciones de operación, tránsito y supervivencia; ≥ 0.3 m condición temporal intermedia.	≥ 1.0 m condiciones de operación, tránsito y supervivencia; ≥ 0.3 m condición temporal intermedia.	No especificado	≥ 0.0 m.	≥ 1.0 m condiciones de operación, tránsito y supervivencia; ≥ 0.3 m Todas las condiciones temporales.
	Momento de corrección mínimo o GZ.	Hasta el ángulo de inundación o palanca adrizante máxima, o hasta 15° , lo que sea menor: $GZ \geq 0.5 GM_0 \text{ sen}\theta$, donde GM_0 es el GM mínimo permitido.	Positivo sobre rango desde la vertical a la segunda intersección.	No especificado	Positivo sobre rango desde la vertical a la segunda intersección.	Positivo sobre rango desde la vertical a la segunda intersección.	Positivo sobre rango desde la vertical a la segunda intersección.
Estándares de estabilidad dañada.	Relación entre el momento adrizante y el momento escorante del viento en algún ángulo dentro del rango de estabilidad positiva.	No especificado	No especificado	No especificado	≥ 2	≥ 2	≥ 2
	Zona de integridad estanca a la intemperie.	≥ 4 m por encima del plano de agua de cualquier daño.	≥ 0 m por encima de la línea de agua del daño final.	≥ 0 m por encima de la línea de agua del daño final.	Cualquier daño, ≥ 4 m por encima del plano de agua.	≥ 4 m arriba de la línea de agua y 7° más allá del daño final.	≥ 4 m por encima del plano de agua de cualquier daño.
	Ángulo estático sin viento.	$\leq 15^\circ$	No especificado	$\leq 15^\circ$	No especificado	No especificado	No especificado
	Ángulo estático con viento.	No especificado	$\leq 17^\circ$	No especificado	$\leq 17^\circ$	No especificado	$\leq 17^\circ$
	Rango de estabilidad positiva.			No especificado	$\geq 7^\circ$	$\geq 7^\circ$	$\geq 7^\circ$
	Proporción del área bajo la curva de momento adrizante con respecto al área bajo la curva de momento escorante del viento.	≥ 1.0	≥ 1.0	≥ 1.0	No especificado	No especificado	No especificado
Requisitos de curva límite de KG	Condición de tormenta severa.	Curva de KG máximo para cumplir con los criterios mínimos de GM y estabilidad intacta para una velocidad del viento de no menos de 100 nudos. Requisitos adicionales para borradores intermedios.	Similar al HSE, pero se aplican criterios de estabilidad dañados con una velocidad del viento de 70 nudos si una embarcación está al costado o si se realizan otras actividades peligrosas. Requisitos adicionales para calados intermedios.	Curva de KG máximo para cumplir con los criterios mínimos de GM y estabilidad intacta para una velocidad del viento de no menos de 100 nudos. Requisitos adicionales para lastrados intermedios.	No especificado	No especificado	Similar a HSE.
	Condiciones de operación.	Una curva de KG máximo para cumplir con lo más crítico de lo siguiente: • Criterios de estabilidad intactos con una velocidad del viento no inferior a 70 nudos. • Cumplimiento de los criterios de estabilidad dañados. • Mantenimiento de mínimo GM.	Una curva de KG máximo para cumplir con lo más crítico de lo siguiente: • Criterios de estabilidad intactos con una velocidad del viento no inferior a 70 nudos. • Cumplimiento de los criterios de estabilidad dañados. • Mantenimiento de mínimo GM.	Valores máximos de KG según los criterios de estabilidad intactos con una velocidad del viento no inferior a 70 nudos y criterios de estabilidad dañados con viento de 50 nudos.	No especificado	No especificado	Similar a CCG.

Capítulo 3

3. Marco teórico

Este capítulo se divide en tres secciones. En la primera se dan las expresiones matemáticas de las teorías que describen de manera breve la mecánica del oleaje. En la segunda parte, se explica la metodología para resolver la ecuación que gobierna el movimiento de los cuerpos en un medio acuoso y la tercera sección describe como determinar la respuesta de los SFP.

3.1 Mecánica de fluidos y teoría de oleaje⁴

En esta sección se describe de manera simplificada, el fundamento matemático que explica el comportamiento mecánico de las partículas de agua en el muy complejo movimiento de los océanos, es decir, las teorías que describen el oleaje y su interacción con cuerpos dentro de ellos.

3.1.1 Ecuaciones aplicables

Del análisis vectorial, el operador $\vec{\nabla}$ está definido por:

$$\vec{\nabla} = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$$

que aplicado a una función escalar resulta el vector gradiente, el cual describe la tasa de cambio de dicha función respecto de la distancia.

La divergencia del vector de velocidad de un fluido $\vec{U} = (U_x, U_y, U_z)$ es:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{U} = \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z}$$

el cual describe la tasa de expansión del fluido por unidad de volumen.

El rotacional de un vector \vec{U} es:

$$\vec{\nabla} \times \vec{U} = \vec{i} \left(\frac{\partial U_z}{\partial y} - \frac{\partial U_y}{\partial z} \right) + \vec{j} \left(\frac{\partial U_x}{\partial z} - \frac{\partial U_z}{\partial x} \right) + \vec{k} \left(\frac{\partial U_y}{\partial x} - \frac{\partial U_x}{\partial y} \right)$$

⁴ Traducción de las notas del curso impartido en el Instituto Mexicano del Petróleo por el Dr. Richard Mercier, director del OTRC, 2018.

el cual describe la tasa de rotación de las partículas del fluido por unidad de volumen.

El operador Laplaciano es,

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Las ecuaciones básicas de un flujo incompresible viscoso son:

- Conservación de la masa: la tasa de expansión del fluido es cero; flujo de entrada = flujo de salida $\vec{\nabla} \cdot \vec{U} = 0$
- Conservación de la cantidad de movimiento: masa x aceleración = suma de fuerzas

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \vec{\nabla}) \vec{U} \right] = -\vec{\nabla} p + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{U}$$

con

$\vec{U} =$ campo de velocidad del fluido (U_x, U_y, U_z)

$\rho =$ densidad del fluido

$p =$ presión del fluido

$\mu =$ viscosidad del fluido

$\vec{g} = (0, 0, -g) =$ vector de aceleración de la gravedad

Estas representan cuatro ecuaciones acopladas (1 masa + 3 cantidad de movimiento) con cuatro incógnitas ρ, U_x, U_y, U_z . Las ecuaciones son extremadamente difíciles de resolver, incluso con métodos numéricos avanzados.

Considere la forma integral de la ecuación de cantidad de movimiento sobre un volumen de fluido arbitrario,

$$\underbrace{\iiint \vec{\nabla} p dV}_{\text{fuerza neta}} = - \underbrace{\iiint \rho \left[\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + (\vec{U} \cdot \vec{\nabla}) \vec{U} \right] dV}_{\text{fuerza inercial}} + \underbrace{\iiint \rho \vec{g} dV}_{\text{fuerza gravitacional}} + \underbrace{\iiint \mu \nabla^2 \vec{U} dV}_{\text{fuerza viscosa}}$$

Si se caracteriza el tamaño del volumen del fluido por la escala de longitud l y la velocidad del fluido dentro del volumen por la escala de la velocidad U , entonces se obtienen dos relaciones que describen el balance de fuerzas del lado derecho de la ecuación:

$$\text{Número de Froude, } Fr = \frac{\text{fuerzas inerciales}}{\text{fuerzas gravitacionales}} = \frac{\rho U^2 l^2}{\rho g l^3} = \frac{U^2}{gl}$$

$$\text{Número de Reynolds, } Re = \frac{\text{fuerzas inerciales}}{\text{fuerzas viscosas}} = \frac{\rho U^2 l^2}{\mu U l} = \frac{\rho U l}{\mu}$$

Dado que la viscosidad cinemática μ/ρ para el agua es de aproximadamente $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, las fuerzas viscosas son generalmente mucho más pequeñas que las fuerzas de inercia del fluido, excepto en las capas de cortante en escalas de longitud pequeña, por ejemplo, en las capas límite.

Por ejemplo, si consideramos una altura y periodo de ola, $H = 20 \text{ m}$ y $T = 14 \text{ s}$, actúa sobre un cuerpo flotante cualquiera y si la escala de la longitud característica es $l = 30 \text{ m}$. La velocidad característica de la ola es

$$U = \left(\frac{H}{2}\right) \omega = \left(\frac{H}{2}\right) \frac{2\pi}{T} = 4.5 \text{ m/s}$$

y

$$\text{Número de Froude, } Fr = \frac{(4.5 \text{ m/s})^2}{(9.81 \text{ m/s}^2)(30 \text{ m})} = 0.07$$

$$\text{Número de Reynolds, } Re = \frac{(4.5 \text{ m/s})(30 \text{ m})}{10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 1.35 \times 10^8$$

Por lo tanto, al considerar la mecánica de oleaje superficial, una aproximación válida es despreciar las fuerzas viscosas en el fluido. Las consecuencias de asumir que un fluido no tiene viscosidad (es decir, el fluido no es viscoso) son las siguientes:

- La vorticidad ($\zeta = \vec{\nabla} \times \vec{U}$) no puede crearse ni destruirse.
- Un flujo que inicialmente era irrotacional (cero vorticidad en todo el espacio) siempre será irrotacional.
- Si un flujo tiene una cierta vorticidad, siempre conservará en todo el tiempo la vorticidad.

Si se asume que un flujo es irrotacional, entonces no existe vorticidad y ($\zeta = \vec{\nabla} \times \vec{U} = \vec{0}$). Se puede demostrar que en cualquier función escalar ϕ

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \phi) = \vec{0}$$

Si se define la función escalar ϕ tal que $\vec{U} = \vec{\nabla} \phi$, entonces esta función tendrá cero vorticidad ya que

$$\vec{\nabla} \times \vec{U} = \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \phi) = \vec{0}$$

El potencial de velocidad ϕ , describe el campo de velocidad de un flujo irrotacional. Tómese en cuenta que,

$$U_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad U_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad U_z = \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

Substituyendo $\vec{U} = \vec{\nabla} \phi$ dentro de la ecuación de conservación de la masa se obtiene la ecuación de Laplace,

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{U} = (\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla})\phi = \nabla^2 \phi = 0$$

Reemplazando $\vec{U} = \vec{\nabla} \phi$ dentro de la ecuación de conservación de cantidad de movimiento y despreciando el término viscoso,

$$\rho \left[\frac{\partial(\vec{\nabla}\phi)}{\partial t} + (\vec{\nabla}\phi \cdot \vec{\nabla})\vec{\nabla}\phi \right] + \vec{\nabla}p - \rho\vec{g} = \vec{0}$$

$$\vec{\nabla} \left\{ \rho \left[\frac{\partial\phi}{\partial t} + \frac{1}{2}(\vec{\nabla}\phi)^2 \right] + p + \rho gz \right\} = 0$$

Integrando sobre un volumen de fluido arbitrario, se obtiene la ecuación de Bernoulli

$$p = -\rho \frac{\partial\phi}{\partial t} - \frac{\rho}{2}(\vec{\nabla}\phi)^2 - \rho gz + C(t)$$

donde $C(t)$ es una constante de integración.

Las ecuaciones de Laplace y Bernoulli forman las ecuaciones fundamentales de flujo no viscoso, irrotacional e incompresible. Ahora tenemos 2 ecuaciones desacopladas (1 masa + 1 cantidad de movimiento) en 2 incógnitas p y ϕ . Se resuelve la ecuación de Laplace, primero para ϕ , luego se calcula la presión usando la ecuación de Bernoulli.

Para resolver la ecuación de Laplace necesitamos las siguientes ecuaciones de frontera:

a) condición de frontera cinemática:

velocidad del fluido en la dirección normal a la frontera = velocidad normal en la frontera

$$\vec{\nabla}\phi \cdot \vec{n} = \frac{\partial\phi}{\partial n} = \vec{V} \cdot \vec{n}$$

donde \vec{n} es el vector normal unitario en la superficie de la frontera, y \vec{V} es el vector de velocidad en la frontera.

En los límites estacionarios como el lecho marino, $\vec{V}=\vec{0}$ y $\frac{\partial\phi}{\partial n} = 0$

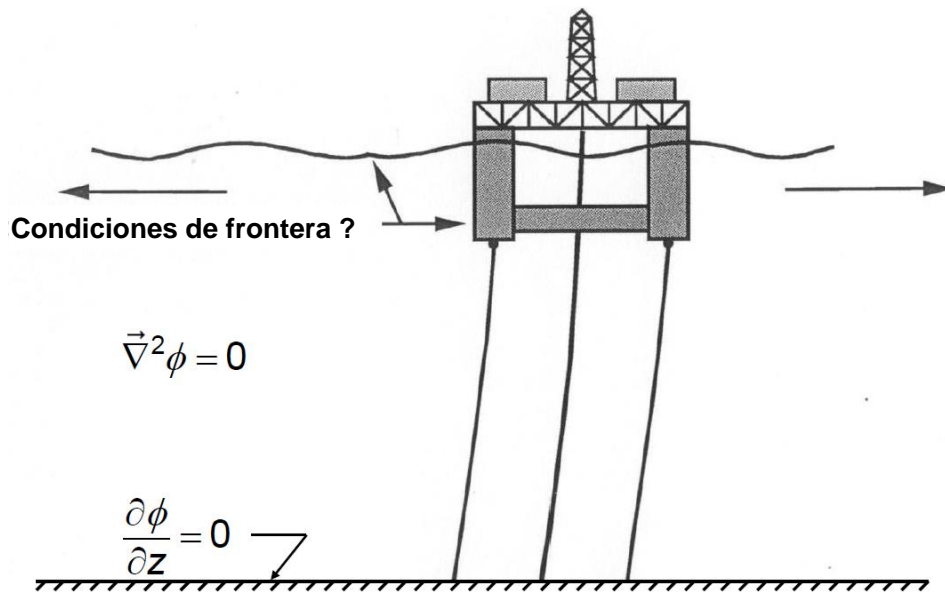


Figura 3.1 El problema de cuerpo flotante idealizado.
(Modificado por el autor).

La expresión general para una superficie es $S(x, y, z, t) = 0$. La condición de frontera cinemática requiere que las partículas en la superficie de la frontera permanezcan todo el tiempo en la superficie,

$$S(x_p, y_p, z_p, t) = 0$$

Por lo tanto, la tasa de cambio de esta propiedad a medida que las partículas de fluido se mueven es cero. En consecuencia, establecemos las siguientes derivadas

$$\frac{DS}{Dt} = \frac{\partial S}{\partial t} + U_x \frac{\partial S}{\partial x} + U_y \frac{\partial S}{\partial y} + U_z \frac{\partial S}{\partial z} = 0 \quad \text{donde } S = 0$$

$$\text{o} \quad \frac{\partial S}{\partial t} + \vec{\nabla} \phi \cdot (|\vec{\nabla} S| \vec{n}) = 0 \quad \text{donde } S = 0$$

$$\text{o} \quad \vec{\nabla} \phi \cdot \vec{n} = \frac{-\frac{\partial S}{\partial t}}{|\vec{\nabla} S|} \quad \text{donde } S = 0$$

Sobre la superficie libre, $S(x, y, z, t) = \eta(x, y, t) - z = 0$ y la condición de frontera cinemática puede escribirse,

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{\nabla} \phi \cdot \vec{\nabla} S = 0 \quad \text{o} \quad \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$$

b) condición dinámica de superficie libre:

Dado que la condición de frontera de superficie libre cinemática contiene η , que es una nueva variable desconocida, debemos especificar una ecuación adicional para η . Utilizamos el hecho de que la superficie libre es una línea de corriente y especificamos la presión sobre ella como cero. De la ecuación de Bernoulli,

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\vec{\nabla} \phi)^2 + g\eta = 0 \quad \text{donde } z = \eta$$

3.1.2 Mecánica de oleaje regular

Considere olas regulares monocromáticas (frecuencia única y amplitud constante) que se propagan en el tirante h de agua constante en la dirección (+X). Si no hay obstrucciones en las olas, se tiene que:

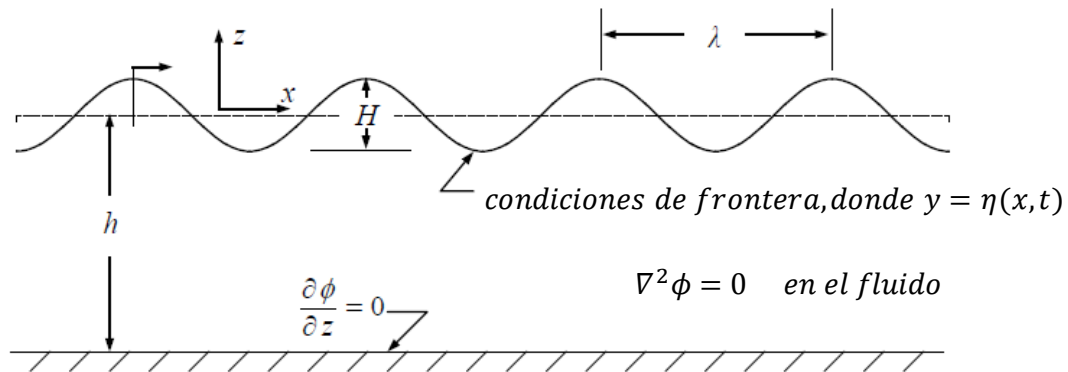


Figura 3.2 Definición de oleaje regular.
(Modificado por el autor).

Donde $H =$ altura de ola
 $\lambda =$ longitud de ola
 $T =$ periodo de ola.

Las ecuaciones que controlan un flujo incomprensible, irrotacional y no viscoso son,

$$\begin{aligned} \nabla^2 \phi &= 0 && \text{en el fluido} \\ \frac{\partial \phi}{\partial z} &= 0 && \text{en el lecho marino } z = -h \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial \phi}{\partial z} &= 0 && \text{en la superficie } z = \eta \\ \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\vec{\nabla} \phi)^2 + g\eta &= 0 && \text{en la superficie libre } z = \eta \end{aligned}$$

La solución se complica por las condiciones de frontera de superficie libre no lineal. Expandiendo las variables independientes en la serie Stokes.

$$\phi(x, y, z, t) = \varepsilon \tilde{\phi}^{(1)} + \varepsilon^2 \tilde{\phi}^{(2)} + \varepsilon^3 \tilde{\phi}^{(3)} + \dots$$

$$\eta(x, y, z, t) = \varepsilon \tilde{\eta}^{(1)} + \varepsilon^2 \tilde{\eta}^{(2)} + \varepsilon^3 \tilde{\eta}^{(3)} + \dots$$

$$p(x, y, z, t) = p^{(0)} + \varepsilon \tilde{p}^{(1)} + \varepsilon^2 \tilde{p}^{(2)} + \varepsilon^3 \tilde{p}^{(3)} + \dots$$

$$\text{Donde } \varepsilon = \text{pendiente de ola en aguas profundas} = \frac{H}{gT^2} = \frac{H}{2\pi\lambda} \ll 1$$

La expansión anterior supone, por ejemplo, que $\tilde{\phi}^{(1)}, \tilde{\phi}^{(2)}, \tilde{\phi}^{(3)}$, son todos del mismo orden de magnitud, de modo que cada término sucesivo en la expansión de la serie es el orden ε más pequeño que el término anterior y la serie converge. Cuanto más pequeña es la pendiente de la ola ε , más rápida es la convergencia de la serie. Por lo tanto, se espera que, para las olas de pendientes pequeñas, se tenga que considerar menos términos en la serie para lograr la misma precisión que para las olas con pendientes grandes.

Sustituyendo las expansiones de la serie en las ecuaciones.

$$\varepsilon \nabla^2 \tilde{\phi}^{(1)} + \varepsilon^2 \nabla^2 \tilde{\phi}^{(2)} + \dots = 0 \quad \text{en el fluido}$$

$$\varepsilon \frac{\partial \tilde{\phi}^{(1)}}{\partial z} + \varepsilon^2 \frac{\partial \tilde{\phi}^{(2)}}{\partial z} + \dots = 0 \quad \text{en } z = -h$$

$$\varepsilon \left\{ \frac{\partial \tilde{\eta}^{(1)}}{\partial t} - \frac{\partial \tilde{\phi}^{(1)}}{\partial z} \right\} + \varepsilon^2 \left\{ \frac{\partial \tilde{\eta}^{(2)}}{\partial t} + \frac{\partial \tilde{\phi}^{(1)}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{\eta}^{(1)}}{\partial x} - \frac{\partial \tilde{\phi}^{(2)}}{\partial z} \right\} + \dots = 0 \quad \text{en } z = \eta$$

$$\varepsilon \left\{ \frac{\partial \tilde{\phi}^{(1)}}{\partial t} + g \tilde{\eta}^{(1)} \right\} + \varepsilon^2 \left\{ \frac{\partial \tilde{\phi}^{(2)}}{\partial t} + \frac{1}{2} (\nabla \tilde{\phi}^{(1)})^2 + g \tilde{\eta}^{(2)} \right\} + \dots = 0 \quad \text{en } z = \eta$$

Se puede ver que los términos no lineales en las condiciones de frontera de superficie libre son de orden ε^2 o superiores. Existe una no linealidad adicional asociada con la aplicación de las condiciones de frontera de superficie libre en $z = \eta$. Para eliminar esta no linealidad, expandimos aún más el potencial de velocidad en una serie de Taylor sobre $z=0$, de modo que, por ejemplo,

$$\phi|_{z=\eta} = \phi|_{z=0} + \eta \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{z=0} + \frac{\eta^2}{2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \Big|_{z=0} + \dots$$

$$\frac{\phi}{z} \Big|_{z=\eta} = \frac{\phi}{z} \Big|_{z=0} + \eta \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \Big|_{z=0} + \frac{\eta^2}{2} \frac{\partial^3 \phi}{\partial z^3} \Big|_{z=0} + \dots \text{etc.}$$

El segundo término en la expansión de la serie de Taylor se desprecia sí,

$$\vartheta \left(\frac{\eta}{z} \right) = \frac{H}{h} \ll 1,$$

esto es, si la altura de la ola es relativamente más pequeña que el tirante de agua.

3.1.3 Oleaje regular. Aproximación (lineal) de primer orden

Considerando que $\varepsilon \ll 1$ y $\frac{H}{h} \ll 1$ (amplitud y pendiente pequeñas de ola) y ordenando los términos de primer orden y re-escribiendo,

$$\nabla^2 \phi^{(1)} = 0 \quad \text{en el fluido}$$

$$\frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial z} = 0 \quad \text{en } z = -h$$

$$\frac{\partial \eta^{(1)}}{\partial t} - \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial z} = 0 \quad \text{en } z = 0$$

$$\frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial t} + g\eta^{(1)} = 0 \quad \text{en } z = 0$$

Donde $\phi^{(1)} = \varepsilon \tilde{\phi}^{(1)}$ y $\tilde{\eta}^{(1)} = \varepsilon \tilde{\eta}^{(1)}$. Ya que se está buscando una solución correspondiente a una ola periódica que se propaga en la dirección (+X) sin cambios en la forma, la solución debe contener x y t en la forma $\theta = x - ct$, donde c es la velocidad de la ola.

Suponiendo que la separación de las variables conducirá a una solución, la forma del potencial de velocidad se toma como $\phi = Z(z) F(\theta)$, que al sustituirla en la ecuación de Laplace ($\nabla^2 \phi = 0$) lleva a,

$$F(\theta) \frac{d^2 Z(z)}{dz^2} + Z(z) \frac{d^2 F(\theta)}{d\theta^2} = 0$$

$$\text{o} \quad \frac{1}{Z(z)} \frac{d^2 Z(z)}{dz^2} = - \frac{1}{F(\theta)} \frac{d^2 F(\theta)}{d\theta^2}$$

Dado que el término de la izquierda es una función de z y el término de la derecha es una función de θ , la igualdad de las dos funciones se puede cumplir para todos los valores de z y θ , sólo si cada función es igual a la misma constante, la llamada constante de separación. Denominando esta constante como k^2 con dimensiones $(\text{longitud})^{-2}$, obtenemos dos ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$(i) \quad \frac{d^2 Z}{dz^2} - k^2 Z = 0 \quad \text{con la solución general} \quad Z(z) = A_1 e^{kz} + A_2 e^{-kz}$$

$$(ii) \quad \frac{d^2 F}{d\theta^2} + k^2 F = 0 \quad \text{con la solución general} \quad F(\theta) = B_1 e^{ik\theta} + B_2 e^{-ik\theta}$$

De la condición de frontera inferior, se obtiene

$$\left. \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial z} \right|_{z=-h} = \left. \frac{dZ}{dz} \right|_{z=-h} = k(A_1 e^{-kh} - A_2 e^{kh}) = 0 \quad \text{o} \quad A_1 = A_2 e^{2kh}$$

y se escribe,

$$Z(z) = A_2 e^{kh} [e^{k(z+h)} + e^{-k(z+h)}] = A_3 \cosh(k(z+h))$$

Donde la constante arbitraria A_3 , incorpora la cantidad desconocida e^{kh} . Como se está buscando olas regulares monocromáticas, sin pérdida de generalidad, se puede escribir

$$F(\theta) = B_3 \sin(k\theta)$$

La solución completa puede escribirse como,

$$\phi^{(1)} = A \cosh(k(z+h)) \sin(k(x-ct))$$

donde A es una constante arbitraria. Dado que la solución debe ser periódica en el tiempo con el período T , entonces

$$kc = \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$y \quad \phi^{(1)} = A \cosh(k(z+h)) \sin(kx - \omega t)$$

Se obtiene el perfil de superficie libre a partir de la condición de frontera de superficie libre dinámica,

$$\eta^{(1)}(x, t) = -\left. \frac{1}{g} \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial t} \right|_{z=0} = \frac{A\omega}{g} \cosh(kh) \cos(kx - \omega t)$$

que muestra el perfil de la superficie como sinusoidal. Especificando la amplitud de ola $a = H/2$ obtenemos el perfil de superficie libre

$$\eta^{(1)}(x, t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$$

de modo que la constante $A = \frac{Hg}{2\omega \cosh(kh)}$ y el potencial de velocidad para una ola progresiva lineal es

$$\phi^{(1)} = \frac{gH}{2\omega} \frac{\cosh(k(z+h))}{\cosh(kh)} \sin(kx - \omega t)$$

La constante de separación se conoce como el número de ola y está relacionada con la longitud de ola según $k = 2\pi/\lambda$.

Aplicando la condición de frontera cinemática,

$$\frac{\partial \eta^{(1)}}{\partial t} - \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial z} = 0 \quad \text{en } z = 0$$

y substituyendo

$$\eta^{(1)} = \frac{1}{g} \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial t} \quad \text{en } z = 0$$

se obtiene

$$\frac{\partial^2 \phi^{(1)}}{\partial t^2} - g \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial z} = 0 \quad \text{en } z = 0$$

de la cual, se puede derivar,

$$-\omega^2 \phi^{(1)}|_{z=0} + gk \frac{\sinh(kh)}{\cosh(kh)} \phi^{(1)}|_{z=0} = 0$$

$$0 \Rightarrow \omega^2 = gk \tanh(kh)$$

Esta relación de dispersión describe cómo se relacionan el período de ola, la longitud de ola y el tirante de agua. Note que,

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kh)}$$

es la celeridad de la ola (o velocidad de la ola, o velocidad de propagación, o velocidad de la fase).

En aguas profundas, $kh \gg \pi$, $\tanh(kh) \rightarrow 1$ y

$$c = \frac{gT}{2\pi} \quad \lambda = \frac{gT^2}{2\pi}$$

lo que indica que las olas de período largo viajan más rápido que las olas de período corto (dispersión de frecuencia).

En aguas superficiales $kh < \pi/10$, $\tanh(kh) \rightarrow kh$ y

$$c = \sqrt{gh} \quad \lambda = \sqrt{gh} T$$

y todas las olas viajan a la misma velocidad (pero la velocidad disminuye como la \sqrt{h}).

La ola se está moviendo en la dirección (+x) cuando la fase es $(k x - \omega t)$ y se está moviendo en la dirección (-x) cuando la fase es $(k x + \omega t)$. Para un período de ola T determinado, la longitud de ola λ disminuye al disminuir la profundidad del agua.

La presión de primer orden se obtiene a partir de la ecuación de Bernoulli de primer orden (note que $p^{(0)} = -\rho g z$ es la presión hidrostática de orden cero)

$$p^{(1)}(x, z, t) = -\rho \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial t} = \rho g \frac{H \cosh(k(z+h))}{2 \cosh(kh)} \cos(kx - \omega t) \quad z \leq 0$$

Como $\eta = (H/2) \cos(kx - \omega t)$ está claro que la presión inducida por la ola está en fase con el perfil de la superficie.

La presión dinámica de primer orden bajo una cresta de ola ($kx = \omega t$) se reduce de

$$p^{(1)} = \rho g \frac{H}{2} \quad \text{para } z = 0$$

hasta

$$p^{(1)} = \rho g \frac{H}{2} \frac{1}{\cosh(kh)} \quad \text{para } z = -h$$

En aguas profundas, $kh \gg \pi$, $\cosh(kh) \rightarrow e^{kh}/2$ y, excepto cerca de las proximidades del fondo donde $z = -h$,

$$\cosh(k(z+h)) \rightarrow \frac{1}{2} e^{k(z+h)}$$

por lo que la presión dinámica de primer orden, varia como

$$p^{(1)} = \rho g \frac{H}{2} e^{kz} \cos(kx - \omega t),$$

es decir, decae exponencialmente con la profundidad.

En aguas superficiales, $kh < \pi/10$, $\cosh(kh) \rightarrow 1$, $\cosh(k(z+h)) \rightarrow 1$, y

$$p^{(1)} = \rho g \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) = \rho g \eta$$

Es decir, la presión dinámica es constante con la profundidad o $p^{(0)} + p^{(1)} = \rho g (\eta - z)$.

Las velocidades y aceleraciones de primer orden son

$$U_x^{(1)} = \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial x} = \frac{gH}{2\omega} k \frac{\cosh(k(z+h))}{\cosh(kh)} \cos(kx - \omega t) = \frac{H}{2} \omega \frac{\cosh(k(z+h))}{\sinh(kh)} \cos(kx - \omega t)$$

$$U_z^{(1)} = \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial z} = \frac{gH}{2\omega} k \frac{\sinh(k(z+h))}{\cosh(kh)} \sin(kx - \omega t) = \frac{H}{2} \omega \frac{\sinh(k(z+h))}{\sinh(kh)} \sin(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial U_x^{(1)}}{\partial t} = -\frac{H}{2} \omega^2 \frac{\cosh(k(z+h))}{\sinh(kh)} \sin(kx - \omega t)$$

$$\frac{\partial U_z^{(1)}}{\partial t} = -\frac{H}{2} \omega^2 \frac{\sinh(k(z+h))}{\sinh(kh)} \cos(kx - \omega t)$$

donde la relación de dispersión se ha utilizado para simplificar las expresiones para las velocidades de primer orden. De acuerdo con la teoría lineal, los términos de aceleración convectiva $(\vec{U} \cdot \vec{\nabla})\vec{U}$ se desprecian.

Se trazan las trayectorias de partículas de fluidos individuales bajo una ola de acuerdo con

$$X_p(t) = X_0 + \int U_x^{(1)}(x_p, z_p, t) dt$$

$$Z_p(t) = Z_0 + \int U_z^{(1)}(x_p, z_p, t) dt$$

Se expanden las velocidades de Euler en una serie de Taylor alrededor de la posición media, por ejemplo,

$$U_x^{(1)}(x_p, z_p, t) = U_x^{(1)}(x_0, z_0, t) + (x_p - x_0) \left. \frac{\partial U_x^{(1)}}{\partial x} \right|_{\substack{x=x_0 \\ z=z_0}} + (z_p - z_0) \left. \frac{\partial U_x^{(1)}}{\partial z} \right|_{\substack{x=x_0 \\ z=z_0}} + \dots$$

lo que muestra que los términos que explican la posición de la partícula que es diferente de (x_0, z_0) son del orden H/λ veces el término principal. Por lo tanto, para que haya coherencia con el orden actual de aproximación, se tiene que

$$U_x^{(1)}(x_p, z_p, t) = U_x^{(1)}(x_0, z_0, t)$$

$$U_z^{(1)}(x_p, z_p, t) = U_z^{(1)}(x_0, z_0, t)$$

de modo que

$$X_p(t) - X_0 = \int U_x^{(1)}(x_0, z_0, t) dt = -\frac{H}{2} \frac{\cosh(k(z_0+h))}{\sinh(kh)} \sin(kx_0 - \omega t)$$

$$Z_p(t) - Z_0 = \int U_z^{(1)}(x_0, z_0, t) dt = \frac{H}{2} \frac{\sinh(k(z_0+h))}{\sinh(kh)} \cos(kx_0 - \omega t)$$

Al tomar $Z_0 = 0$, se obtiene $Z_p = (H/2) \cos(kx_0 - \omega t) = \eta$, como debería ser de acuerdo con la condición de frontera de superficie libre cinemática.

La ecuación para las órbitas de partículas es

$$\frac{(X_P - X_0)^2}{A^2} + \frac{(Z_P - Z_0)^2}{B^2} = 1$$

donde

$$A = \frac{H \cosh(k(z_0 + h))}{2 \sinh(kh)} \quad B = \frac{H \sinh(k(z_0 + h))}{2 \sinh(kh)}$$

y se ha utilizado el hecho de que $\sin^2(k x_0 \omega t) + \cos^2(k x_0 \omega t) = 1$. Este resultado muestra que las partículas siguen órbitas elípticas cerradas, con el eje mayor horizontal de longitud $2A$, y el eje vertical de longitud $2B$.

Para olas de aguas profundas, $A = B = \frac{H}{2} e^{kz}$, es decir, las órbitas de las partículas son circulares con un radio que decae exponencialmente con la profundidad.

Para olas de aguas superficiales, $A = \frac{H}{2kh}$ $B = \frac{H}{2} \left(1 + \frac{z}{h}\right)$

y las órbitas tienen excursiones horizontales que son constantes con la profundidad.

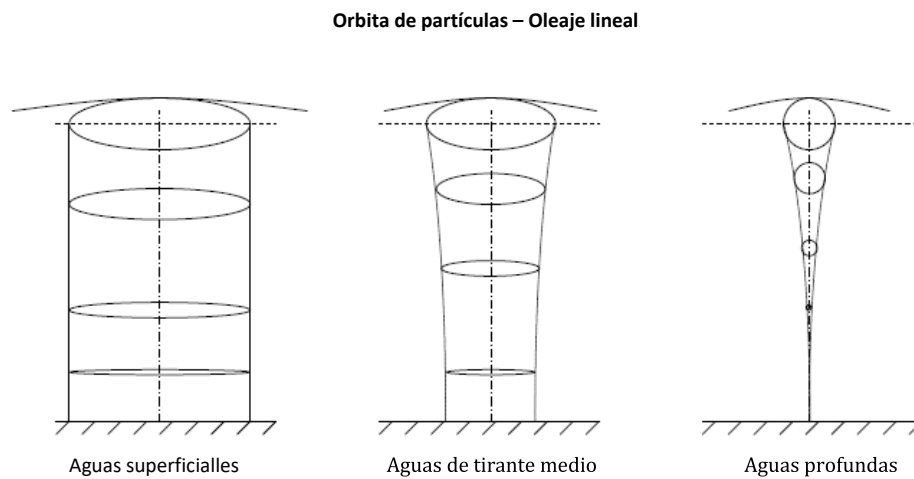


Figura 3.3 Representación del movimiento de la partícula de agua en diferentes tirantes de agua para oleaje lineal. (Modificado por el autor).

3.1.4 Superposición de olas lineales

Considere la superposición de dos olas de primer orden de igual altura H , pero con frecuencias ligeramente diferentes ω_1 y ω_2 y números de ola ligeramente diferentes k_1 y k_2 que se propagan en la misma dirección. Los perfiles de superficie de primer orden individuales están dados por

$$\eta_1^{(1)} = \frac{H}{2} \cos(k_1 x - \omega_1 t + \alpha_1)$$

$$\eta_2^{(1)} = \frac{H}{2} \cos(k_2 x - \omega_2 t + \alpha_2)$$

donde los ángulos de fase se pueden elegir como $\alpha_1 = 0$ y $\alpha_2 = 2\alpha$, o cambiando el origen de (x), como $\alpha_1 = -\alpha$ and $\alpha_2 = +\alpha$. Se puede escribir

$$\eta_1^{(1)} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{H}{2} e^{i(k_1 x - \omega_1 t - \alpha)} \right\}$$

$$\eta_2^{(1)} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{H}{2} e^{i(k_2 x - \omega_2 t + \alpha)} \right\}$$

presentando,

$$\omega = \omega_1 - (\delta\omega) = \omega_2 + (\delta\omega)$$

$$k = k_1 - (\delta k) = k_2 + (\delta k)$$

se puede escribir,

$$\eta_1^{(1)} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{H}{2} e^{i(kx - \omega t)} e^{i((\delta k)x - (\delta\omega)t - \alpha)} \right\}$$

$$\eta_2^{(1)} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{H}{2} e^{-i(kx - \omega t)} e^{-i((\delta k)x - (\delta\omega)t - \alpha)} \right\}$$

y,

$$\eta_1^{(1)} + \eta_2^{(1)} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{H}{2} e^{i(kx - \omega t)} \left[e^{i((\delta k)x - (\delta\omega)t - \alpha)} + e^{-i((\delta k)x - (\delta\omega)t - \alpha)} \right] \right\}$$

$$= H \cos((\delta k)x - (\delta\omega)t - \alpha) \operatorname{Re} \left\{ e^{i(kx - \omega t)} \right\}$$

$$= H \cos((\delta k)x - (\delta\omega)t - \alpha) \cos(kx - \omega t)$$

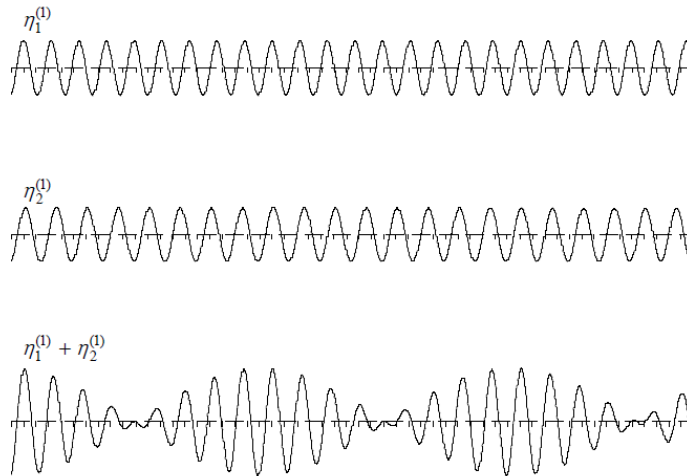


Figura 3.4 Superposición de diferentes frecuencias de oleaje lineal.

El factor $\cos(kx - \omega t)$ varía relativamente rápido con x y t , ya que $k \gg \delta k$ y $\omega \gg \delta \omega$. En consecuencia, se puede considerar que $H \cos((\delta k)x - (\delta \omega)t - \alpha)$ expresa la altura de ola de una ola progresiva de frecuencia $\omega = (\omega_1 - \omega_2) / 2$ y el número de ola $k = (k_1 - k_2) / 2$, es decir, como la definición de la envolvente del tiempo. En una ubicación particular, la altura de la ola parece variar lentamente en el tiempo entre cero y $2H$.

Las olas contenidas dentro de dos ceros consecutivos de la envolvente pueden considerarse un grupo de olas. El grupo de olas se propaga en fase a la velocidad de la envolvente, la velocidad de grupo está dada por

$$c_g = \frac{\delta \omega}{\delta k} \rightarrow \frac{\partial \omega}{\partial k} \quad \text{si } \delta k \rightarrow 0$$

Así, que en aguas profundas ($kh \gg \pi$, $\tanh(kh) \rightarrow 1$) la velocidad de grupo está a media fase de la velocidad de la envolvente,

$$c_g = \frac{1}{2} \frac{g}{\omega} = \frac{1}{2} c$$

Por otro lado, en aguas superficiales ($kh < \pi / 10$, $\tanh(kh) \rightarrow kh$) la velocidad de grupo es idéntica en fase a la velocidad de la envolvente,

$$c_g = \sqrt{gh} = c$$

3.1.5 Oleaje regular – Aproximación de segundo orden

Ahora se recopilan los términos de segundo orden de la expansión de la serie Stokes,

$$\nabla^2 \phi^{(2)} = 0 \quad \text{en el fluido}$$

$$\frac{\partial \phi^{(2)}}{\partial z} = 0 \quad \text{en } z = -h$$

$$\frac{\partial \eta^{(2)}}{\partial t} - \frac{\partial \phi^{(2)}}{\partial z} + \frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial x} \frac{\partial \eta^{(1)}}{\partial x} - \eta^{(1)} \frac{\partial^2 \phi^{(1)}}{\partial z^2} = 0 \quad \text{en } z = 0$$

$$\frac{\partial \phi^{(2)}}{\partial t} + g\eta^{(2)} + \frac{1}{2} (\vec{\nabla} \phi^{(1)})^2 + \eta^{(1)} \frac{\partial^2 \phi^{(1)}}{\partial t \partial z} = 0 \quad \text{en } z = 0$$

con la presión de segundo orden dada por,

$$p^{(2)} = -\rho \frac{\partial \phi^{(2)}}{\partial t} - \frac{\rho}{2} (\vec{\nabla} \phi^{(1)})^2$$

Para olas monocromáticas, la solución general del potencial de velocidad de segundo orden es

$$\phi^{(2)} = \frac{3}{32} \omega H^2 \frac{\cosh(2k(z+h))}{\sinh^4(kh)} \sin(2kx - 2\omega t)$$

con la relación de dispersión $\omega^2 = g k \tanh(kh)$ todavía válida para el oleaje de Stokes de segundo orden.

El perfil de superficie libre de segundo orden viene dado por,

$$\eta^{(2)} = \frac{kH^2}{16} \frac{\cosh(kh)}{\sinh^3(kh)} [2 + \cosh(2kh)] \cos(2kx - 2\omega t)$$

por lo que el perfil de superficie libre para precisión de segundo orden es,

$$\eta = \eta^{(1)} + \eta^{(2)}$$

$$= \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) + \frac{kH^2}{16} \frac{\cosh(kh)}{\sinh^3(kh)} [2 + \cosh(2kh)] \cos(2kx - 2\omega t)$$

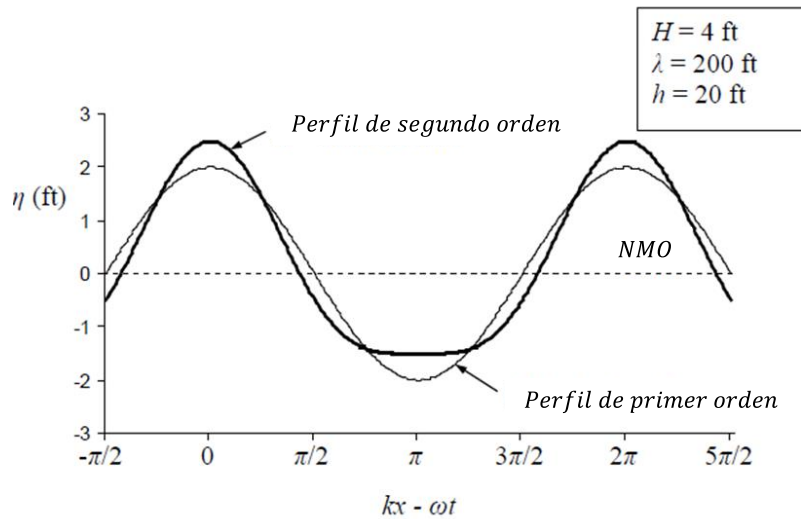


Figura 3.5 Comparación de las aproximaciones de perfiles de ola de primer y segundo orden. (Modificado por el autor).

El efecto del término de segundo orden es agregar a la elevación de la cresta por encima de *NMO* y restar de la distancia por debajo de *NMO*. Sin embargo, la altura de la ola, *H*, definida como la distancia desde el valle hasta la cresta permanece constante para las olas de Stokes de segundo orden.

La presión dinámica de segundo orden es

$$p^{(2)} = \rho g \frac{H^2}{8 \sinh(2kh)} \left\{ \left[\frac{3 \cosh(2k(z+h))}{\sinh^2(kh)} - 1 \right] \cos(2kx - 2\omega t) - [\cosh(2k(z+h)) - 1] \right\}$$

El segundo término en el [] es invariable en el tiempo e igual a cero en el lecho marino ($z = -h$). Este término surge de la cantidad de movimiento promediado en el tiempo, es decir, que es fácil de derivar.

$$\overline{\rho^{(2)}} = -\rho \left\{ \overline{\frac{\partial \phi^{(2)}}{\partial t}} + \frac{1}{2} \overline{\left(\frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial x} \right)^2} + \frac{1}{2} \overline{\left(\frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial y} \right)^2} + \frac{1}{2} \overline{\left(\frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial z} \right)^2} \right\} = -\frac{\rho}{2} \overline{\left(\frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \phi^{(1)}}{\partial z} \right)^2}$$

3.1.6 Oleaje bicromático

La solución a las ecuaciones que rigen el oleaje de Stokes de segundo orden también sirve para la interacción entre dos olas regulares de diferentes frecuencias (olas bicromáticas).

Para las olas de frecuencia bicromáticas ω_i y ω_j , y las alturas asociadas H_i y H_j , la solución general para el potencial de segundo orden es

$$\phi^{(2)} = \frac{-H_i H_j}{16g^2 \omega_i \omega_j} \left\{ \frac{\cosh(|k_i - k_j|(z+h))}{\cosh(|k_i - k_j|h)} D_{ij-}(k_i, k_j) \sin((k_i - k_j)x - (\omega_i - \omega_j)t) \right. \\ \left. + \frac{\cosh(|k_i + k_j|(z+h))}{\cosh(|k_i + k_j|h)} D_{ij+}(k_i, k_j) \sin((k_i + k_j)x - (\omega_i + \omega_j)t) \right\}$$

y el perfil de la superficie libre de segundo orden es,

$$\eta^{(2)} = \frac{H_i H_j}{16} \left\{ E_{ij-}(k_i, k_j) \cos((k_i - k_j)x - (\omega_i - \omega_j)t) \right. \\ \left. + E_{ij+}(k_i, k_j) \cos((k_i + k_j)x - (\omega_i + \omega_j)t) \right\}$$

Donde D_{ij-} , D_{ij+} , E_{ij-} , E_{ij+} son funciones complicadas de k_i y k_j . La interacción de olas bicromáticas de segundo orden da lugar a dos componentes de ola, uno en su suma de frecuencias $\omega_i + \omega_j$ y otro en su diferencia de frecuencias $\omega_i - \omega_j$.

Considere nuevamente la superposición de dos olas de igual altura H , pero con frecuencias ligeramente diferentes ω_1 y ω_2 y números de ola ligeramente diferentes k_1 y k_2 que se propagan en la misma dirección, esta vez considerando los efectos de interacción de segundo orden.

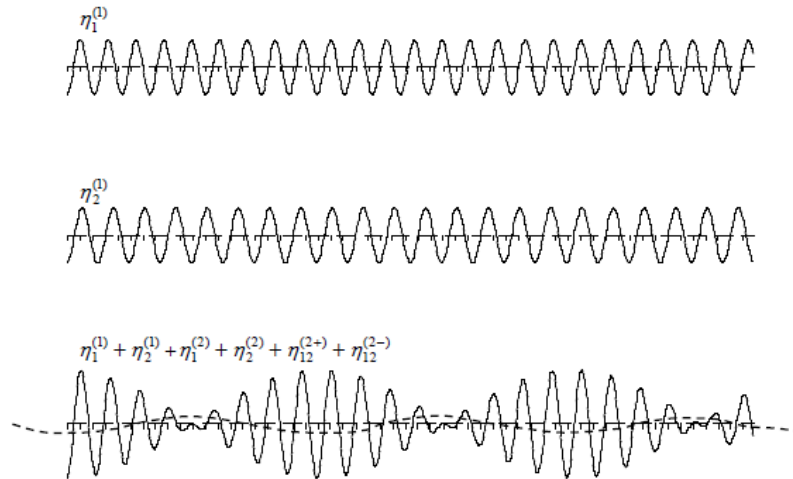


Figura 3.6 Superposición de diferentes frecuencias de oleaje, considerando efectos de segundo orden.

1. Cada ola de segundo orden por sí misma $(\eta_1^{(1)} + \eta_1^{(2)}$ y $\eta_2^{(1)} + \eta_2^{(2)})$ tiene una cresta más alta y un valle más plano que su contraparte de primer orden $(\eta_1^{(1)}$ y $\eta_2^{(1)})$.
2. Hay interacciones de segundo orden dentro del grupo de olas:
 - a. La interacción de la diferencia de frecuencias $(\eta_{12}^{(2-)})$ da lugar a un efecto de reducción del nivel del agua por debajo del pico de la envolvente y un efecto de configuración en los ceros de la envolvente.
 - b. El efecto de suma de frecuencias $(\eta_{12}^{(2+)})$ da lugar a una inclinación local de las olas en el centro del grupo y al aplanamiento de las olas en los ceros del grupo.

3.1.7 Limitaciones del oleaje de segundo orden de Stokes

Se puede mostrar que el perfil de superficie de segundo orden exhibe una cresta secundaria cuando,

$$\frac{|\eta^{(2)}|}{|\eta^{(1)}|} > \frac{1}{4}$$

La adopción del criterio, de que no debería aparecer una cresta de ola secundaria, conduce a una limitación en la aplicabilidad de la teoría de oleaje de segundo orden de Stokes que se expresa en términos del parámetro de Ursell

$$\frac{H\lambda^2}{h^3} = U \leq 26 \quad \text{para ninguna cresta de ola secundaria}$$

Para $U > 26$ las olas están mejor descritas por la teoría de oleaje senoidal. Esto corresponde a olas relativamente largas, ligeramente no lineales, donde $h/\lambda \ll 1$ y $H/h = \theta(h/\lambda)^2$.

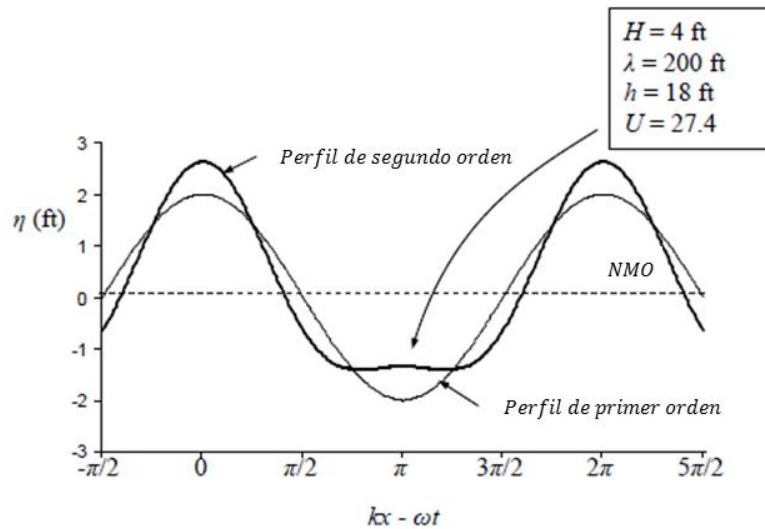


Figura 3.7 Comparación de las aproximaciones de perfiles de ola no lineal de primer y segundo orden. (Modificado por el autor).

3.1.8 Otras teorías de oleaje no lineal. Aguas intermedias.

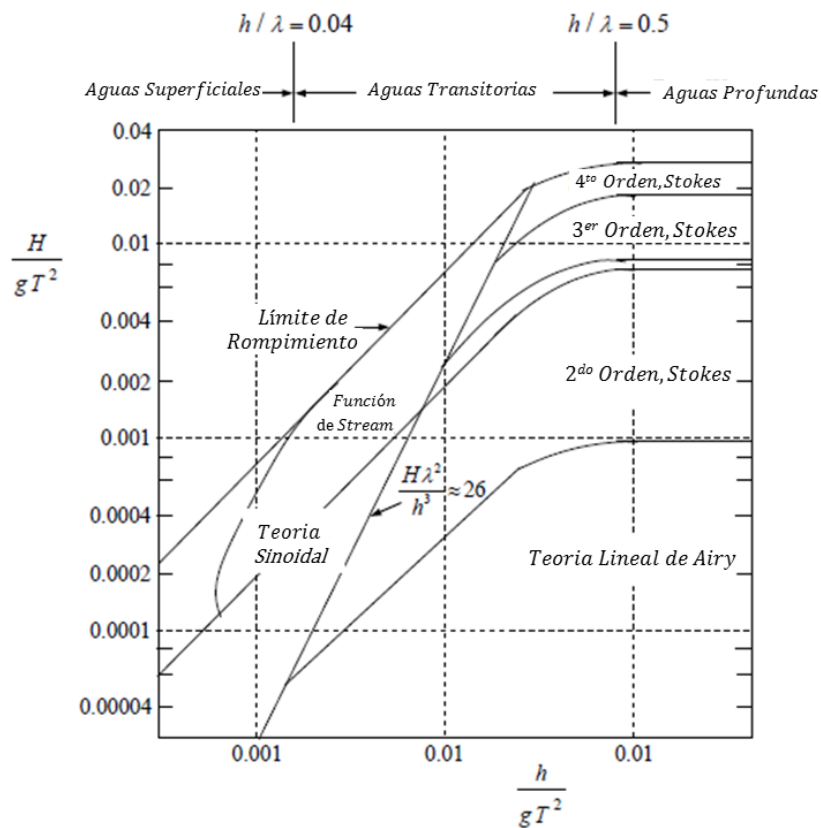


Figura 3.8 Gráfica para determinar el tipo de oleaje como función de sus parámetros principales (H , T). (Modificado por el autor).

3.1.9 Simulación lineal de campos de oleaje aleatorio

Se puede representar un mar aleatorio como una superposición de olas lineales cuyas amplitudes se eligen para mantener la densidad espectral de alturas de ola del mar aleatorio.

La varianza de una ola regular de amplitud de primer orden (sinusoidal) $a = H/2$ es $\sigma_\eta^2 = a^2/2$. La varianza de la elevación de la ola en un mar aleatorio con densidad espectral $S_{\eta\eta}(f)$ es,

$$\sigma_\eta^2 = \int_0^\infty S_{\eta\eta}(f) df = \int_0^\infty S_{\eta\eta}(\omega) d\omega$$

Si se representa un mar aleatorio unidireccional $\eta(x, t)$ por

$$\eta(x, t) = \sum_{i=1}^N |\eta_i| \cos(k_i x - \omega_i t + \alpha_i)$$

$$\text{con} \quad \omega_i^2 = g k_i \tanh(k_i h)$$

y α_i = ángulo de fase elegido al azar (es decir, la función de densidad de probabilidad para α_i es uniforme entre $-\pi$ y π), luego para mantener la densidad espectral de elevación de ola dado un conjunto de frecuencias prescritas ω_i y el ancho de banda asociado $\delta\omega_i$ debemos tener

$$|\eta_i|^2/2 = \int_{\omega_i - \delta\omega_i/2}^{\omega_i + \delta\omega_i/2} S_{\eta\eta}(\omega) d\omega \simeq S_{\eta\eta}(\omega_i) \delta\omega_i$$

$$\text{tal que} \quad \sigma_\eta^2 = \sum_{i=1}^N |\eta_i|^2/2$$

Cada pequeña ola o serie de olas en la superficie del agua, satisface la relación de dispersión y tiene un potencial de velocidad asociado,

$$\phi_i^{(1)} = \frac{H_i g \cosh(k_i(z+h))}{2\omega_i \cosh(k_i h)} \text{sen}(k_i x - \omega_i t + \alpha_i)$$

que se puede utilizar para calcular las velocidades y aceleraciones correspondientes en el fluido.

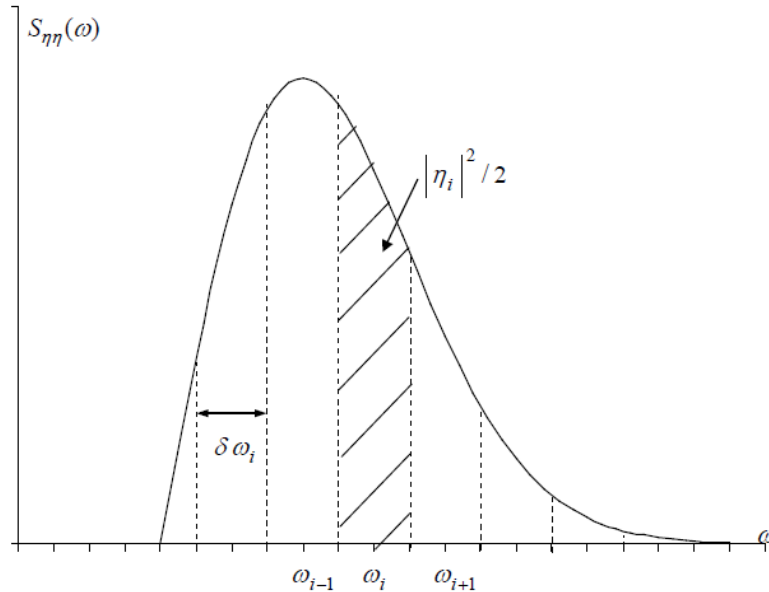


Figura 3.9 Construcción de la densidad espectral por superposición de olas lineales de un oleaje aleatorio. (Modificado por el autor).

Las aplicaciones de este modelo incluyen:

1. Dada una medida $\eta(t) = \sum_{i=1}^N |\eta_i| \cos(\omega_i t + \alpha_i)$ en un punto en el espacio (es decir, medir $\eta(t)$ y representarlo como una serie de Fourier finita), modelar la variación espacial,

$$\eta(x, t) = \sum_{i=1}^N |\eta_i| \cos(k_i x - \omega_i t + \alpha_i)$$

2. Dado que $S_{\eta\eta}(f)$, genera una o más realizaciones estadísticas de $\eta(x, t)$ or $\eta(t)$ que son consistentes con $S_{\eta\eta}(f)$ ya sea para uso en un modelo numérico o en un modelo físico de prueba en un tanque de olas, es decir, como una señal de activación para el generado de olas.

3.2 Teoría y formulación en el dominio de la frecuencia para el cálculo de la respuesta de un SFP⁵

En esta sección se hace una descripción teórica de las fórmulas empleadas por parte del software SESAM en su módulo POSTRESP, para el procesamiento de los datos obtenidos del análisis hidrodinámico. Se hace una breve explicación de las teorías empleadas para determinar el valor más probable de la respuesta máxima (movimientos o fuerzas) del SFP en sus seis grados de libertad.

⁵ Esta sección es la traducción de un extracto del Apéndice B del manual de usuario SESAM POSTRESP V.6.2, postproceso para el cálculo de la respuesta estadística. Módulo POSTRESP del software SESAM de DNV (Det Norske Veritas), December 15th, 2007.

3.2.1 Descripción de corto plazo del mar

En una descripción de corto plazo del mar, las propiedades estadísticas de las olas son tratadas como invariantes durante un período que dura unas pocas horas. La superficie del mar se considera la suma de un número infinito de olas sinusoidales elementales con diferentes frecuencias y direcciones y con ángulos de fase aleatorios. La distribución de la energía de las olas de acuerdo con las frecuencias de los componentes de las olas está representada por una densidad espectral de oleaje.

3.2.1.1 Función de dispersión de energía de ola

Las olas de cresta corta son la combinación de diferentes olas de cresta larga desde diferentes direcciones. La energía de ola de dicho sistema puede describirse mediante una densidad espectral de oleaje $S(\omega, \alpha)$ direccional de la forma

$$S(\omega, \alpha) = S(\omega)f(\alpha)$$

donde $S(\omega)$ es la densidad espectral de oleaje unidireccional con energía distribuida según la frecuencia de ola ω .

La función $f(\alpha)$ representa la distribución direccional de energía en las olas y se define de la siguiente manera

$$f(\alpha) = \frac{\int_{\alpha-\delta/2}^{\alpha+\delta/2} \cos^n x dx}{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos^n x dx}$$

donde α representa el ángulo de las olas elementales en relación con la dirección principal "X" del sistema de ola de cresta corta, y δ es el espacio de dirección de la ola (figura 3.10).

Cuanto mayor es el valor de n , más nítida es la función de distribución y más concentrada es la distribución de energía direccional.

Además, el denominador de la ecuación de la función $f(\alpha)$ debe satisfacer el requisito

$$\int_{-\pi/2}^{\pi/2} f(\alpha) d\alpha = 1$$

La distribución direccional *coseno-n* es entonces

$$f(\alpha) = \begin{cases} \frac{\int_{\alpha-5/2}^{\alpha+5/2} \cos^n x dx}{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos^n x dx} & -\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & -\frac{\pi}{2} \geq \alpha \geq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (B.4)$$

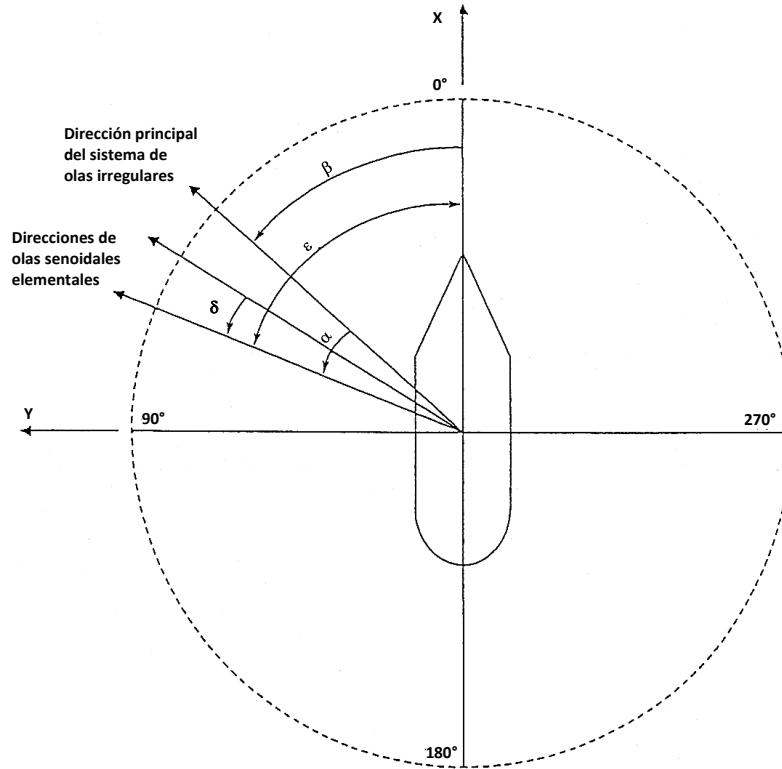


Figura 3.10 Definición de ángulos de rumbo entre barco y olas.
(Modificado por el autor).

Existen varias funciones paramétricas para la construcción de densidades espectrales de estados de mar, los más comunes son: Pierson-Moskowitz, Jonswap, Gamma, ISSC, Ochi-Hubble y Torsethaugen. Las densidades espectrales que mejor representan el comportamiento de los estados de mar en el Golfo de México son los Pierson-Moskowitz y Jonswap, por lo que son los que se describen a continuación.

3.2.1.2 Densidad espectral de Pierson-Moskowitz

La densidad espectral de Pierson-Moskowitz puede escribirse como

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} e^{\frac{-5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}}$$

donde α es un parámetro de pendiente (establecido igual a 0.0081, la constante de Phillip), g es la aceleración debida a la gravedad y ω_p es la frecuencia correspondiente al pico de la densidad espectral ($\omega_p = 2\pi / T_p$).

Se ha desarrollado una forma más conveniente de la densidad espectral de Pierson-Moskowitz en términos de los parámetros del estado de mar H_s y T_z y se conoce como la densidad espectral modificada de Pierson-Moskowitz. Esta forma es de uso más directo para fines de ingeniería y puede escribirse como

$$S(\omega) = \frac{H_s^2 T_z}{8\pi^2} \left(\frac{\omega T_z}{2\pi}\right)^{-5} e^{-\frac{1}{\pi} \left(\frac{\omega T_z}{2\pi}\right)^4}$$

La altura de ola significativa H_s se determina a partir del momento espectral de orden cero m_0 de la densidad espectral de oleaje

$$H_s = 4\sqrt{m_0}$$

El período medio de cruce por cero con pendiente ascendente se determina a partir del momento espectral de orden cero m_0 y el momento espectral de segundo orden m_2 de la densidad espectral de oleaje

$$T_z = 2\pi\sqrt{m_0/m_2}$$

3.2.1.3 Densidad espectral de Jonswap

La densidad espectral Jonswap se describe como una función de los cuatro parámetros $(\alpha, \omega_p, \gamma, \sigma)$ o, alternativamente, por los cuatro parámetros $(H_s, T_z, \gamma, \sigma)$.

En la primera forma, la densidad espectral se escribe como

$$S(\omega, \alpha, \omega_p, \gamma, \sigma) = \alpha g^2 \omega^{-5} e^{\left(\frac{-5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right)} \gamma^\alpha$$

donde

$$\alpha = e^{\left(\frac{-1}{2} \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)}$$

Ahora se establece una relación entre (α, ω_p) y (H_s, T_z) . Si se calcula m_0 y m_2 de la definición de espectro anterior vemos que los momentos espectrales se escriben como

$$m_0 = \alpha g^2 \omega_p^{-4} F_0(\gamma, \sigma)$$

$$m_2 = \alpha g^2 \omega_p^{-2} F_2(\gamma, \sigma)$$

Ahora se calcula H_s y T_z como

$$H_s(\alpha, \omega_p) = 4\sqrt{m_0} = 4g\omega_p^{-2}\sqrt{\alpha F_0(\gamma, \sigma)}$$

$$T_z(\alpha, \omega_p) = 2\pi\sqrt{m_0/m_2} = 2\pi\omega_p^{-1}\sqrt{F_0/F_2} = T_p\sqrt{F_0/F_2}$$

y la relación inversa como

$$\alpha(H_s, T_z) = \left(\frac{F_0}{F_2}\right) \left(\frac{H_s \pi^2}{g T_z^2}\right)^2$$

$$\omega_p(H_s, T_z) = 2\pi\omega T_z^{-1} \sqrt{F_0/F_2}$$

H_s , T_p , M , N y γ dependen de un conjunto de parámetros semiempíricos. Las relaciones funcionales son diferentes para la parte de oleaje y la parte de viento y son diferentes según si el estado total del mar se considera dominado por el viento o dominado por el oleaje.

3.2.1.4 Definición del tipo de estado de mar

El estado del mar se define como dominado por el viento o dominado por el oleaje si el período pico primario es inferior o superior a un valor TF dado por:

$$TF = AF H_s^{\frac{1}{3}}$$

Con base en esto, se definen las fracciones de los períodos inferior y superior:

$$\varepsilon_L = \frac{TF - TP}{TF - AE\sqrt{H_s}}$$

$$\varepsilon_U = \frac{TF - TP}{TF - AU}$$

donde TP es el período pico primario.

3.2.1.4.1 Constantes básicas

El siguiente conjunto de constantes básicas es aplicables a las definiciones que se describen del punto 3.2.1.4.2 al 3.2.1.4.4.

$AF = 6.6$	$KG = 32.0$	$K00 = 3.2$	$A3 = 6.0$
$AE = 2.0$	$KG0 = 3.5$	$M0 = 4.0$	$S0 = 0.08$
$AU = 25.0$	$KG1 = 1.0$	$B1 = 2.0$	$S1 = 3.0$
$A10 = 0.7$	$R = 0.857$	$A20 = 0.6$	$B2 = 0.7$
$A1 = 0.5$	$K0 = 0.5$	$A2 = 0.3$	$B3 = 3.0$

3.2.1.4.2 Mar dominado por el viento

3.2.1.4.2.1 Pico primario

Altura de ola significativa:

$$H_{Sp} = H_s \left[(1 - A10) e^{-\left(\frac{\varepsilon_L}{A1}\right)^2} + A10 \right]$$

Periodo espectral:

$$T_{pp} = T_p$$

Factor de mejora pico:

$$\gamma_p = KG \left(1 + KG0 e^{\frac{-H_s}{KG1}} \right) \left(\frac{2\pi H_s}{gT_p^2} \right)^R$$

Exponente de frecuencia alta:

$$N_p = K0 \sqrt{H_s} + K00$$

Exponente de ancho espectral:

$$M_p = M0$$

3.2.1.4.2 Pico secundario

Altura de ola significativa:

$$H_{s_s} = H_s \sqrt{1 - \left[(1 - A10) e^{-\left(\frac{\varepsilon_L}{A1}\right)^2} + A10 \right]^2}$$

Periodo espectral:

$$T_{ps} = TF + B1$$

Factor de mejora pico:

$$\gamma_s = 1$$

Exponente de frecuencia alta:

$$N_s = N_p$$

Exponente de ancho espectral:

$$M_s = M_p$$

3.2.1.4.3 Mar dominado por oleaje

3.2.1.4.3.1 Pico primario

Altura de ola significativa:

$$H_{s_p} = H_s \left[(1 - A20) e^{-\left(\frac{\varepsilon_U}{A2}\right)^2} + A20 \right]$$

Periodo espectral:

$$T_{pp} = T_p$$

Factor de mejora pico:

$$\gamma_p = (1 + A3 \varepsilon_U) KG \left(1 + KG0 e^{\frac{-Hs}{KG1}} \right) \left(\frac{2\pi Hs}{gTF^2} \right)^R$$

Exponente de frecuencia alta:

$$N_p = K0 \sqrt{Hs} + K00$$

Exponente de ancho espectral:

$$M_p = M0$$

3.2.1.4.3.2 Pico secundario

Altura de ola significativa:

$$H_{s_s} = Hs \sqrt{1 - \left[(1 - A20) e^{-\left(\frac{\varepsilon_U}{A2}\right)^2} + A20 \right]^2}$$

Periodo espectral:

$$T_{ps} = \frac{16 S0 \left(1 - e^{\frac{-Hs}{S1}} \right) (0.4^{N_s})}{(G0 Hs_s^2)^{\frac{-1}{N_s-1}}}$$

Factor de mejora pico:

$$\gamma_s = 1$$

Exponente de frecuencia alta:

$$N_s = N_p$$

Exponente de ancho espectral:

$$M_s = M0 \left(1 - B2 e^{-\frac{Hs}{B3}} \right)$$

3.2.1.4.4 La densidad espectral combinada para viento y oleaje

Por lo tanto, la densidad espectral total de doble pico es la suma del espectro Jonswap generalizado para el pico primario y la densidad espectral Jonswap generalizado para el

pico secundario, cada uno de los cuales depende de los parámetros Hs_p , Tp_p , M_p , N_p y g_s o Hs_s , Tp_s , M_s , N_s y g_s . Estas constantes son a su vez, funciones de los parámetros básicos Hs y Tp para el espectro total. Hs es la altura de ola significativa de la densidad espectral total, mientras que Tp se toma como el período del pico primario. En otras palabras, la densidad espectral total de doble pico $S_{dps}(\omega)$ se construye como:

$$s_{dsp}(\omega) = s(\omega; Hs = Hs_p; Tp = Tp_p; N = N_p; M = M_p; \gamma = \gamma_p) \\ + s(\omega; Hs = Hs_s; Tp = Tp_s; N = N_s; M = M_s; \gamma = \gamma_s)$$

3.2.2 Funciones de transferencia

3.2.2.1 Funciones de transferencia básica

Una función de transferencia describe la respuesta de una estructura en olas sinusoidales regulares en un rango de frecuencias. La amplitud de la respuesta se normaliza con respecto a la amplitud de la ola. Se utiliza una representación en el plano complejo para transportar información de fase entre la variable de respuesta y la ola entrante.

Una vez que se conoce la función de transferencia compleja H_x para la variable de respuesta x , la variable de respuesta dependiente del tiempo se puede determinar a partir de

$$R(t) = \xi_a \operatorname{Re}[H_x e^{i\omega t}]$$

donde ξ_a es la amplitud de la ola entrante, ω es la frecuencia de la ola entrante y t es el tiempo.

En términos del ángulo de fase y amplitud, esto es:

$$R(t) = \xi_a |H_x| \cos(\omega t + \phi)$$

El ángulo de fase ϕ de la respuesta con respecto a la ola entrante y la amplitud $|H|$ entonces es dado por

$$\phi = \operatorname{arc tan} \frac{H^I}{H^R}$$

$$|H| = \sqrt{(H^R)^2 + (H^I)^2}$$

donde H^R y H^I son las partes real e imaginaria de la función de transferencia, respectivamente.

La respuesta superior entonces ocurre $Dt = f / \omega$ antes de la cresta de la ola en el origen (avance de fase).

3.2.2.2 Combinaciones estándares

Las funciones de transferencia se pueden combinar para describir otras respuestas. Las funciones de transferencia complejas de los movimientos básicos en los seis grados de libertad, por ejemplo, se pueden combinar para describir otros movimientos en las direcciones x , y y z , en ubicaciones arbitrarias en la estructura. A continuación, se proporcionan algunos ejemplos que ilustran el proceso de combinación.

El movimiento absoluto en un punto dado con coordenadas x , y y z con respecto al CG en la dirección z viene dado por:

$$H_{AM(z)} = H_{arfada} - xH_{cabeceo} + yH_{balanceo}$$

El movimiento relativo de un punto dado con respecto a la altura de la cresta en esa ubicación definido por las coordenadas en el plano horizontal x y y en la dirección z viene dado por:

$$H_{RM(z)} = H_{AM(z)} - H_{ola(z)}$$

El movimiento absoluto de un punto dado con coordenadas x , y y z con respecto al CG en la dirección y viene dado por:

$$H_{AM(y)} = H_{deriva} + xH_{guiñada} - zH_{balanceo}$$

El movimiento absoluto de un punto dado con coordenadas x , y y z con respecto al CG en la dirección x viene dado por

$$H_{AM(x)} = H_{avance/retroceso} - yH_{guiñada} + yH_{cabeceo}$$

Funciones de transferencia para la velocidad H_v , y la aceleración H_A puede derivarse de las funciones de transferencia de movimiento H_M usando las relaciones,

$$H_v = i\omega H_M$$

$$H_A = -\omega^2 H_M$$

3.2.2.3 Combinaciones especiales

También se pueden derivar combinaciones especiales de funciones de transferencia H_{SC}

$$H_{SC} = \sum_{i=1}^{i=n} C_{xi} H_{xi} \quad i = 1..n$$

donde C_x es un factor constante para cada variable de respuesta x_i involucrada en la combinación de las funciones de transferencia H_x .

3.2.3 Estadística de la respuesta de corto plazo

Las respuestas de una estructura a un estado de mar estacionario irregular de cresta corta se pueden calcular a partir de la densidad espectral de energía de las olas y las funciones de transferencia de las diversas respuestas mediante la técnica de superposición lineal.

3.2.3.1 Momentos espectrales

El momento espectral de orden $c^n M_c$ está dado por,

$$M_c = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{\infty} \omega^c |H_x(\omega, \varepsilon)|^2 S(\omega) f(\alpha) d\omega d\alpha$$

La respuesta significativa X_s (doble amplitud) para la variable de respuesta x , se define como el promedio del tercio superior de las respuestas más grandes en la densidad espectral de respuesta. Esto está relacionado con el momento cero M_0 por,

$$X_s = 4\sqrt{M_0}$$

El periodo medio de cruce por cero con pendiente ascendente T_x de la respuesta está relacionado con el de orden cero y los momentos de segundo orden de la densidad espectral de la respuesta y viene dado por,

$$T_x = 2\pi\sqrt{M_0/M_2}$$

3.2.3.2 Varianza de la respuesta

La varianza $(\sigma_x)^2$ de la respuesta debido a las olas de cresta corta está dada por,

$$\sigma_x^2(\beta) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{\infty} |H_x(\omega, \varepsilon)|^2 S(\omega) f(\alpha) d\omega d\alpha = M_0$$

donde β es el ángulo de rumbo entre la dirección del sistema de olas principal y el barco, $\varepsilon = \beta + \alpha$, es el ángulo de rumbo entre las olas sinusoidales elementales y el barco, y α es el ángulo de las olas elementales en relación con la principal dirección del sistema de olas irregulares. Ver Figura 3.2.1.

La densidad espectral de la respuesta individual se define por,

$$S_R(\omega, \varepsilon) = |H_x(\omega, \varepsilon)|^2 S(\omega) d\omega$$

mientras que la densidad espectral de la respuesta compuesta está definida por,

$$S_{RC}(\omega) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} S_R(\omega, \varepsilon) f(\alpha) d\alpha$$

Al crear cada densidad espectral de la respuesta individual, utilizando un JONSWAP, Pierson-Moskowitz o una densidad espectral definida por el usuario, la función de transferencia seleccionada se divide linealmente sin ningún suavizado en 201 frecuencias correspondientes a las que se proporciona la densidad espectral de oleaje. La integración numérica para calcular los parámetros espectrales se realiza en estos 201 puntos con integración de trapecio normal dentro del rango de frecuencia para el que se proporciona la función de transferencia y la densidad espectral de oleaje. No se utilizan extrapolaciones ni enfoques asintóticos.

Usando una densidad espectral gamma general, la densidad espectral de la respuesta en sí no se calcula, solo los parámetros espectrales se calculan analíticamente.

3.2.3.3 Covarianza de la respuesta

La covarianza es una medida del grado en que varían conjuntamente dos variables aleatorias respecto de sus valores esperados. Considerando las variables de respuesta x_1 y x_2 , la covarianza, $Cov(x_1, x_2)$ viene dada por,

$$Cov(x_1, x_2) = \frac{1}{2} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_{-\infty}^{\infty} H_{x_1}(\omega, \varepsilon) H_{x_2}^*(\omega, \varepsilon) S(\omega) f(\alpha) d\omega d\alpha$$

donde H^* denota el conjugado complejo de la función de transferencia compleja H .

La covarianza normalizada o coeficiente de correlación, se define como,

$$\rho = \frac{Cov(x_1, x_2)}{\sigma_{x_1} \sigma_{x_2}}$$

donde σ_{x_1} y σ_{x_2} son los valores de la desviación estándar de las variables de respuesta individuales x_1 y x_2 .

Si ρ es grande y positivo (es decir, cercano a +1), los valores de los dos componentes de respuesta tienden a ser grandes o pequeños al mismo tiempo, mientras que si ρ es grande y negativo (es decir, cercano a -1), el valor de un componente de respuesta tiende a ser grande cuando el otro es pequeño. Si ρ es pequeño o cero, tiende a haber poca o ninguna relación lineal entre los dos componentes de respuesta.

3.2.3.4 Valor más probable de la respuesta máxima

La distribución de probabilidad de la respuesta máxima ante un estado de mar de corto plazo se describe mediante la función de distribución de probabilidad de Rice.

$$F_s(x) = \Phi\left(\frac{x}{\varepsilon \sigma_x}\right) - \sqrt{1 - \varepsilon^2} \Phi\left(\frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2} x}{\varepsilon \sigma_x}\right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2}$$

donde $\Phi ()$ es la distribución normal estándar, σ_x es la desviación estándar de la respuesta y ε es el parámetro de ancho espectral dado por,

$$\varepsilon = \left[1 - \frac{M_2^2}{M_0 M_4} \right]^{\frac{1}{2}}$$

En el caso de $\varepsilon = 0$, la distribución general de Rice se reduce a la distribución de Rayleigh

$$F_s(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right)}$$

El valor más probable de la respuesta máxima X_{max} que ocurre dentro de un intervalo de tiempo y un número N_c de respuestas máximas, viene dada aproximadamente por,

$$X_{max} = \sqrt{2} \sigma_x \left[\ln \left(\sqrt{1 - \varepsilon^2} N_c \right) \right]^{1/2}$$

En el caso de una densidad espectral de banda estrecha, es decir, cuando $\varepsilon = 0$, el valor más probable de la respuesta máxima viene dada por

$$X_{max} = \sqrt{2} \sigma_x \sqrt{\ln N_s}$$

donde N_s representa el número de cruces por cero con pendiente ascendente en el estado del mar de corto plazo. En condiciones de banda estrecha, el número de cruces por cero N_s es igual al número de respuestas máximas N_c .

El número de cruces por cero con pendiente ascendente N_s puede determinarse a partir de la duración del estado del mar de corto plazo D_s y el período medio de la respuesta de cruces por cero con pendiente ascendente T_x , es decir,

$$N_s = \frac{D_s}{T_x}$$

El valor más probable de la respuesta máxima tiene un 63% de probabilidad de ser excedido, es decir, de un gran número de estructuras flotantes idénticas presentes en la misma área oceánica, el 63% experimentaría una respuesta máxima mayor que el valor más probable de la respuesta máxima.

Capítulo 4

4. Procedimiento de optimización

Con base en la investigación y análisis de la literatura referente a los procesos de optimización para SFP, se propuso un procedimiento para determinar las dimensiones del casco de plataformas tipo semisumergible que minimizan su respuesta máxima ante estados de mar de corto plazo.

Dentro del proceso para la optimización de la respuesta hidrodinámica se desarrolló una herramienta computacional, con el fin de parametrizar la construcción geométrica del casco del SFP y coadyuvar a la agilización del proceso.

La herramienta computacional se generó mediante el uso de programación estructurada (Octave) y siguiendo las recomendaciones o estructura del programa de cómputo por lotes SESAM de la compañía Det Norske Veritas (DNV).

Finalmente, se presentan algunos casos de estudio para ejemplificar el procedimiento de optimización y la aplicación de la herramienta desarrollada.

4.1 Procedimiento propuesto

El proceso de optimización del diseño del casco de un SFP tipo semisumergible es para obtener la mejor respuesta hidrodinámica, es decir, para obtener la respuesta que corresponde al mínimo valor más probable de las respuestas máximas. Para nuestro caso, se siguieron las recomendaciones de las prácticas recomendadas por DNV y el software SESAM.

Para ello, se comenzó por identificar las principales variables que rigen el diseño de un casco de los SFP tipo semisumergible y se plasmaron en una herramienta computacional para la construcción geométrica.

En la figura 4.1, se muestran los pasos a seguir para el proceso de optimización de la respuesta hidrodinámica de un SFP tipo semisumergible.

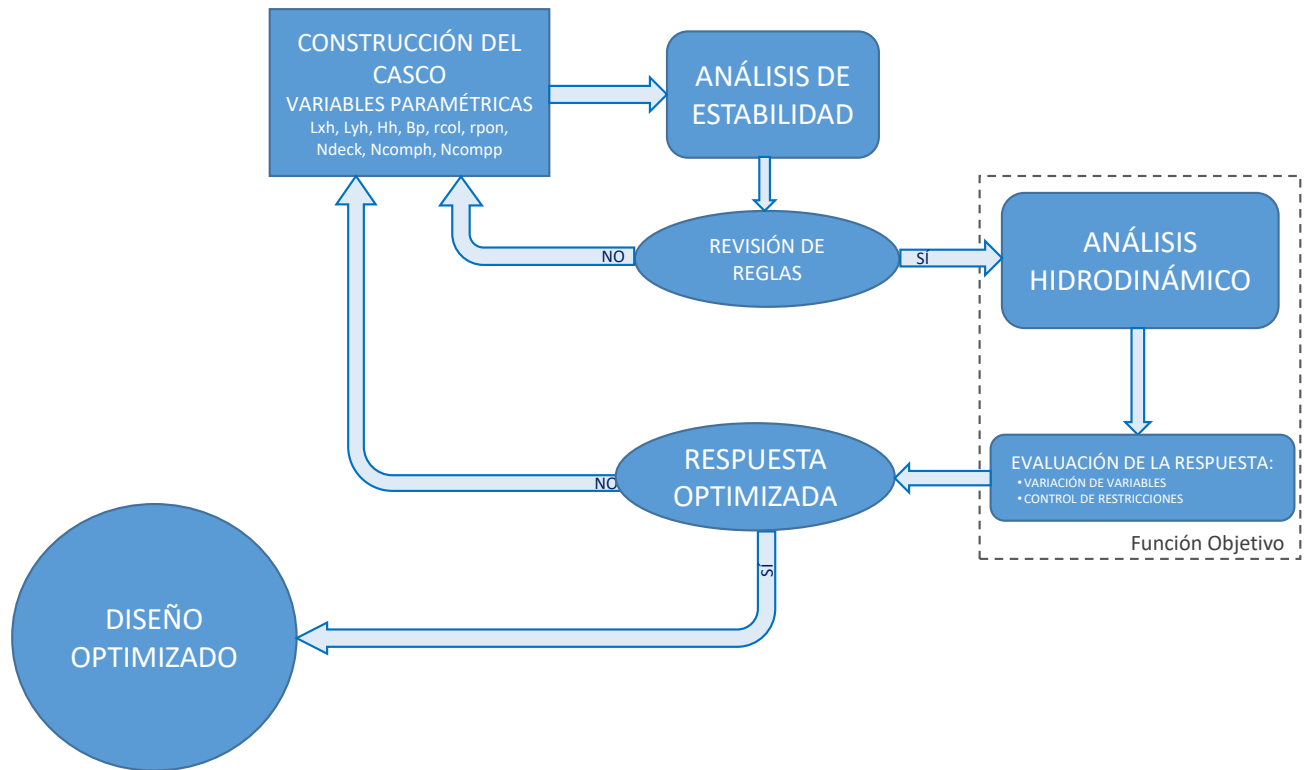


Figura 4.1 Procedimiento de optimización de la respuesta de SFP tipo semisumergible.

Donde las variables de diseño:

- **Lxh**= Longitud del casco en dirección X
- **Lyh**= Longitud del casco en dirección Y
- **Hzh**= Altura del casco en dirección Z
- **bp**= Longitud horizontal del pontón
- **rpon** = Radio de curvatura de pontón
- **rcol** = Radio de curvatura de la columna
- **Ndeck**= Número de cubiertas
- **NcompC**= Número de compartimentos en la columna
- **NcompP**= Número de compartimentos en el pontón

Las variables de diseño enlistadas se determinaron a partir de la indagación bibliográfica realizada en las fases anteriores, con base en la normatividad, la práctica y recomendaciones aplicables en el tema. En la siguiente figura se aprecian las variables seleccionadas para la construcción geométrica de un casco típico.

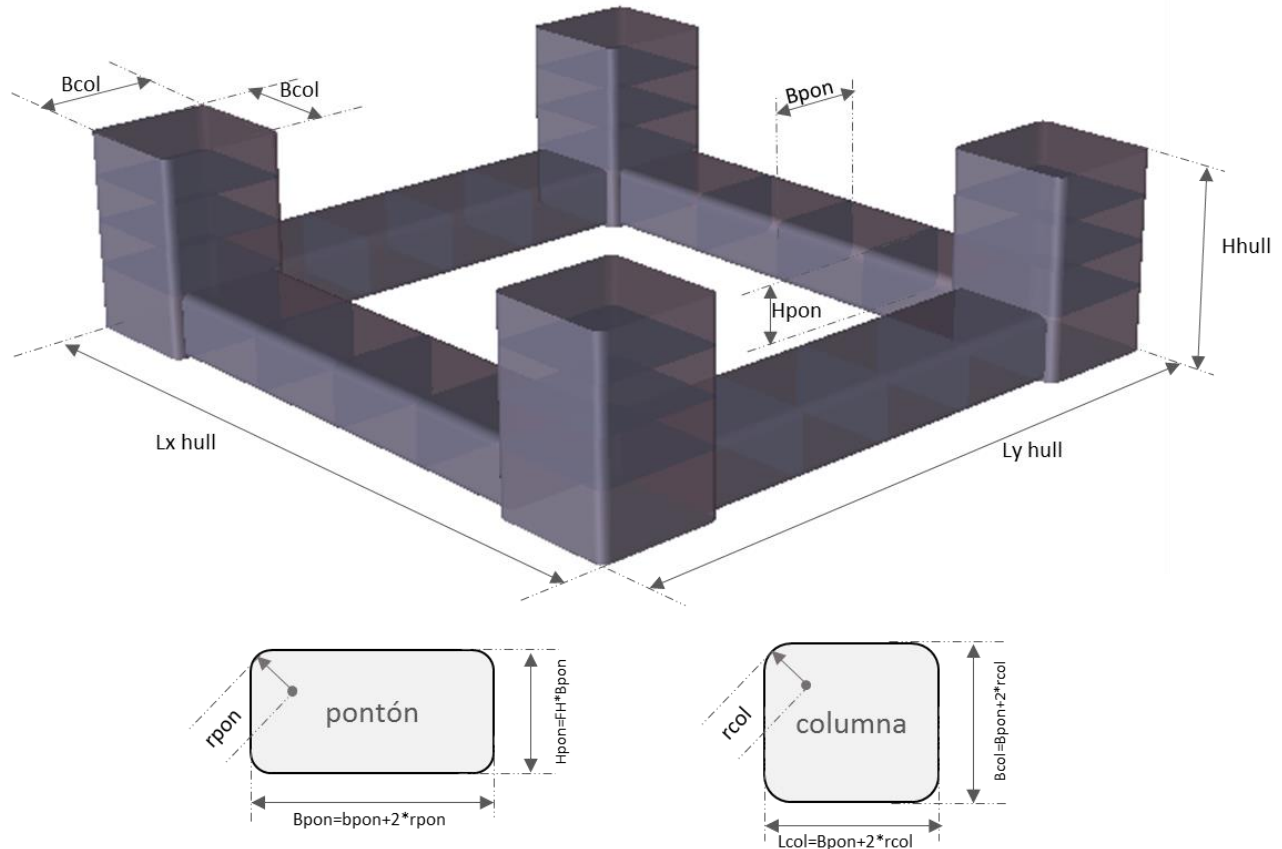


Figura 4.2 Variables identificadas para la parametrización geométrica del casco.

En los numerales subsecuentes, se explicará el procedimiento de forma detallada, con el fin de dejar en claro los pasos para la optimización.

4.1.1 Construcción paramétrica de modelos

Para la construcción geométrica del casco, primeramente, se identificaron las variables que rigen el diseño de un casco de un SFP tipo semisumergible, de las cuales se eligieron las que afectan de manera importante a la respuesta hidrodinámica.

Identificadas las variables principales, se desarrolló el código con programación estructurada en el software libre "Octave". El código sirve de base para la construcción geométrica del casco.

El código se desarrolló con base en las instrucciones de modulo Genie del programa SESAM, que se utiliza para el modelado geométrico de cualquier tipo de SFP.

En la figura 4.3, se muestra el diagrama de flujo del programa para la construcción del casco. En seguida se describen las partes importantes del programa:

1. Se inicia con la declaración de variables y datos de entrada. Las variables de entrada serán las variables paramétricas que rigen la construcción geométrica de casco: longitud, ancho y altura del casco, separación entre columnas, ancho, largo y radio

de curvatura de columnas y pontones, número de tanques en las columnas y pontones, altura y número de cubiertas, espesores de placa del casco, densidades de carga sobre cubierta y calado inicial.

2. Con los valores de entrada, se calculan el peso de la plataforma semisumergible, por componente (casco: columnas, pontones, dados y peso en cubiertas), el peso de los tanques de lastre y el volumen desplazado. Se declaran las propiedades de los materiales, tamaño de la malla, perfiles de cubierta (si fuera el caso) y el área sumergida.
3. En seguida se comienza con la construcción de las columnas del casco y luego los pontones, se designa el área sumergida. De acuerdo con el número de tanques internos en las columnas y pontones, se asignan divisiones estancas. Se asignan propiedades y tipo de elemento. Posteriormente se construye la superestructura, de acuerdo con el número de cubiertas y se asigna la densidad de carga sobre las cubiertas, las propiedades del material, tipos de elementos y tamaño de malla.
4. Posteriormente se construye el mallado en el casco y se crean los modelos:
 - Estructural y masas (T3.FEM), es el modelo de elementos finitos que dan rigidez a la estructura, incluye las cargas y los compartimentos del lastrado y almacenamiento.
 - Panel (T1.FEM), es el modelo de paneles o placas que sirve para interacción con el fluido, es decir, para el análisis hidrodinámico.
 - Morison (T2.FEM), el cual sirve para el cálculo de las fuerzas de arrastre y de amortiguamiento viscoso del sistema durante el análisis hidrodinámico.

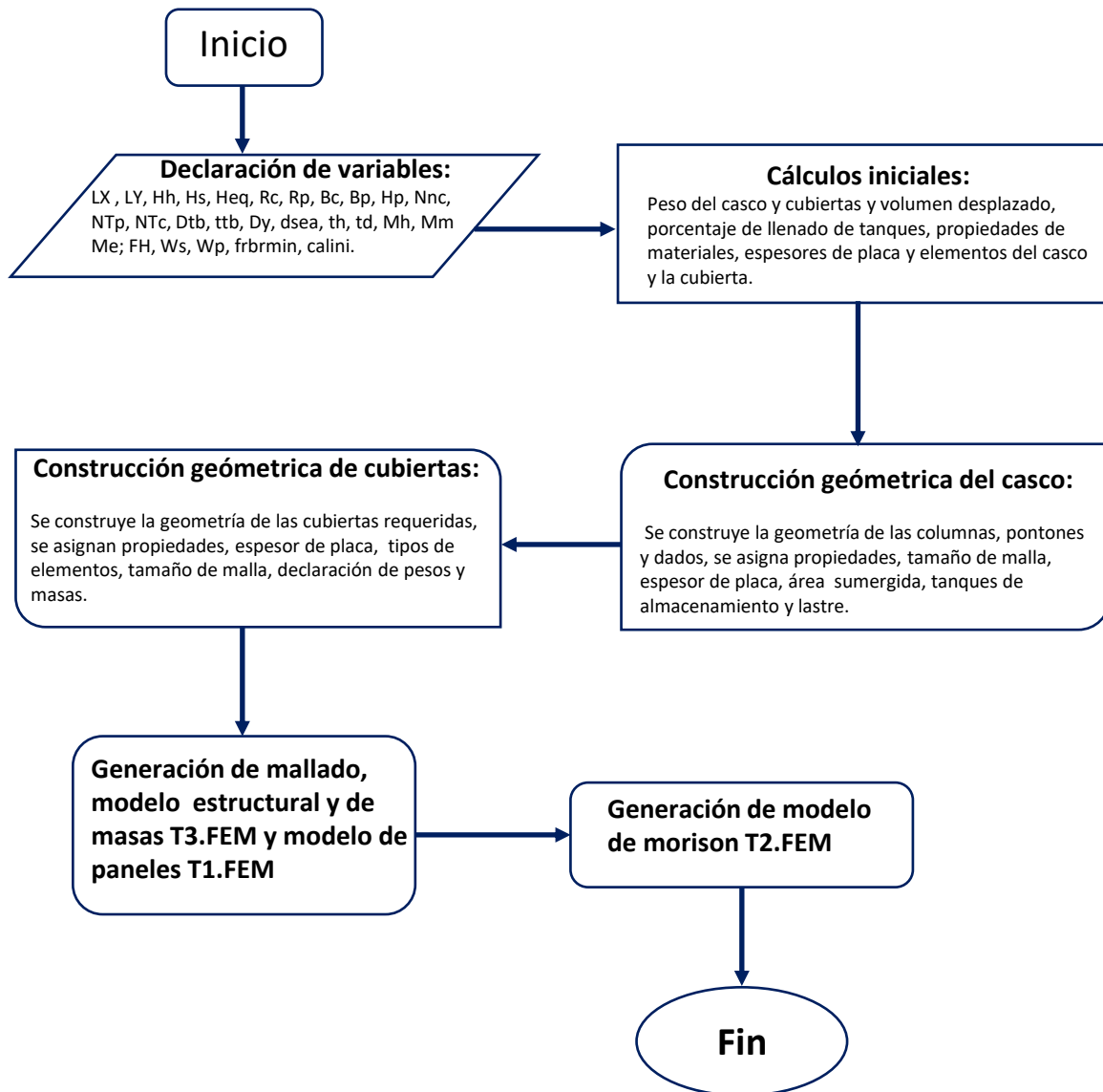


Figura 4.3. Esquema del diagrama de flujo para la construcción geométrica del SFP.

En la figura 4.4, se muestran algunos de los modelos que pueden ser generados con el código. La selección de dimensiones se obtuvo de casos típicos encontrados en la literatura revisada.

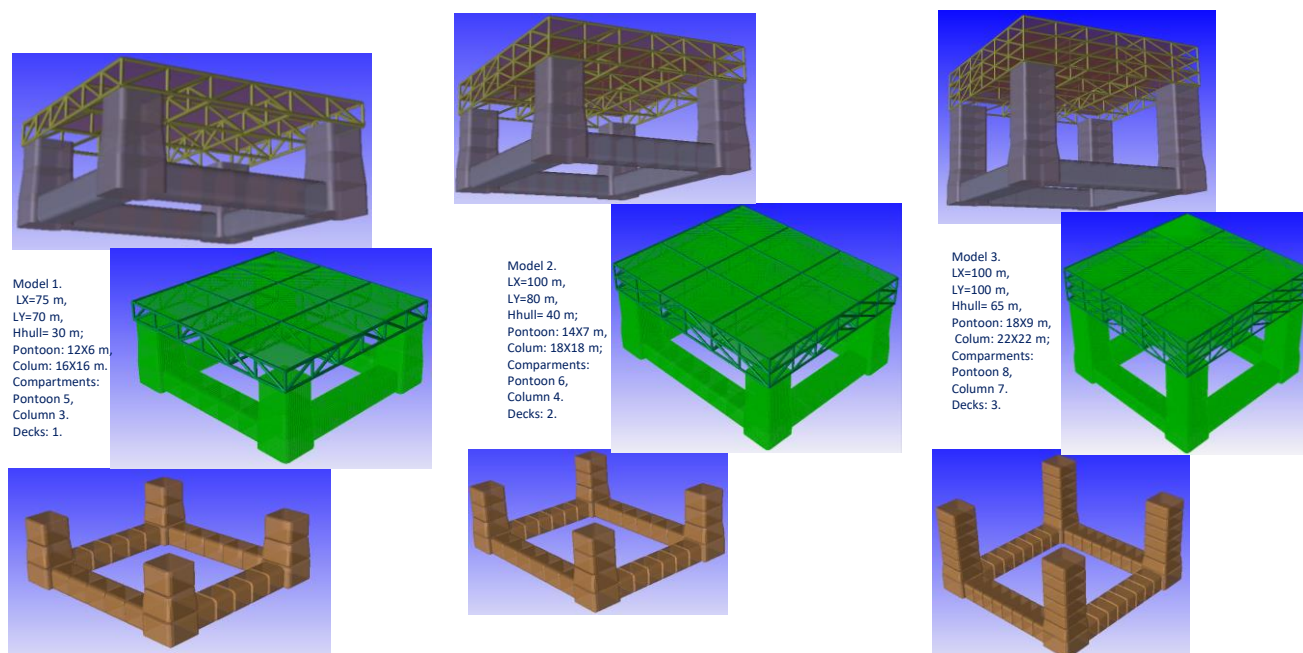


Figura 4.4 Modelos paramétricos de SFP construidos con el código desarrollado.

4.1.2 Análisis de estabilidad

Siguiendo el procedimiento propuesto, una vez generado los modelos o casos de estudio, se continúa con el análisis de estabilidad, que es un análisis de equilibrio estático, entre el peso total de la estructura (peso propio, peso de equipo, cargas vivas, peso de combustibles, peso del lastre) y el desplazamiento del casco (peso del volumen de agua desplazado).

El análisis hidrostático consiste entonces, en encontrar la estabilidad de la estructura cuando se aplica un momento de volteo producto del empuje del viento sobre la estructura, a este momento se le conoce como momento de escora. El SFP deberá tener la suficiente reserva de flotación, para generar un momento de restitución, producto del brazo de palanca, que es la distancia que se genera cuando la estructura gira, entre el centro de flotación y el centro de gravedad, multiplicado por el peso del volumen desplazado de agua, a este momento se le conoce como momento adrizante.

La normatividad que regula la estabilidad de los SFP exige entre otras cosas que la relación entre las áreas bajo las curvas del momento adrizante y de escora sea mayor a 1.

Después de obtenido el modelo de la semisumergible, se procede a realizar el análisis de estabilidad, mediante el módulo HydroD del programa SESAM.

El archivo T1.FEM, modelo de panel, es creado para la interacción con el fluido, para el cálculo de superficies húmedas y áreas de presión del viento (figura 4.5). El modelo T2.FEM, modelo de elementos Morison, es creado para el cálculo de las fuerzas de arrastre y del

amortiguamiento viscoso (ver figura 4.6) y el modelo T3.FEM, es el modelo estructural, de masas y compartimentos generados, para el cálculo de las respuestas del análisis de estabilidad e hidrostático, ver figura 4.7.

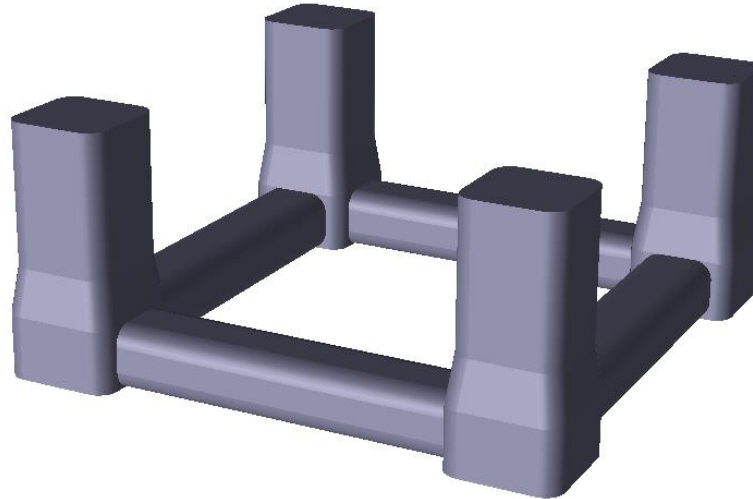


Figura 4.5 Modelos de panel T1.FEM.

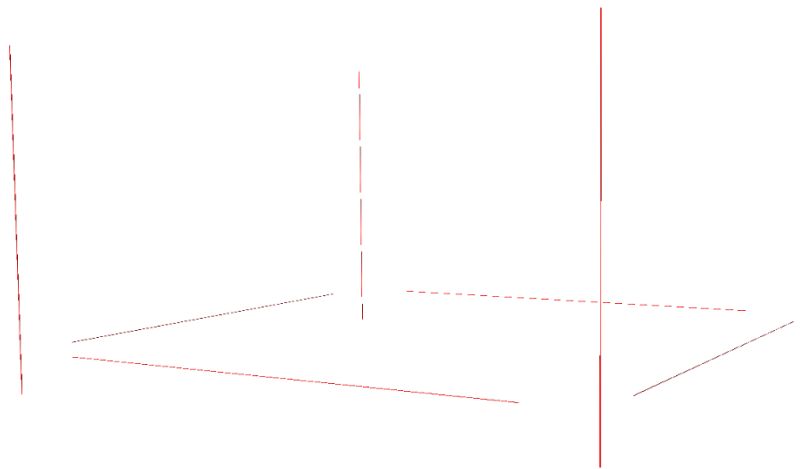


Figura 4.6 Modelo de elementos morison, T2.FEM.

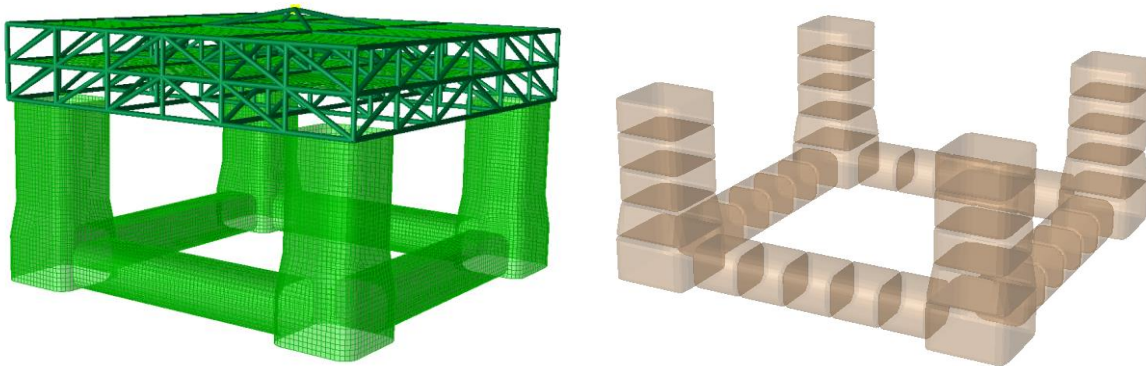


Figura 4.7 Modelos generados en el archivo T3.FEM (estructural y masas y el de compartimentos.)

Primero se determina el equilibrio inicial estático entre el peso de la plataforma y el volumen desplazado de agua, a partir de ahí se calculan los parámetros principales de estabilidad, como la altura metacéntrica, centro de flotación, centro de gravedad, etc. ver figura 4.8.

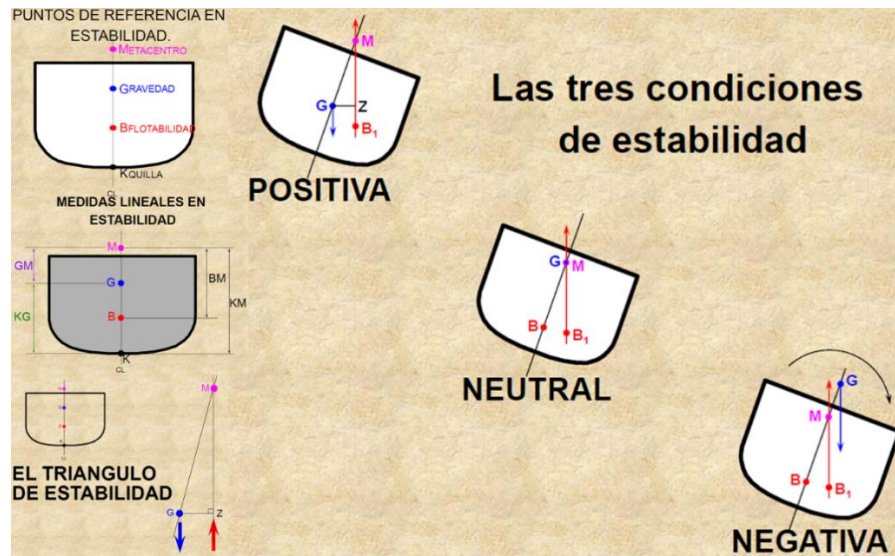


Figura 4.8 Principios de estabilidad y parámetros principales.

Con el modelo de masas, se propone un calado, el porcentaje de llenado de los tanques (lastre y almacenamiento) y se calcula el equilibrio estático. Posteriormente se revisan las regulaciones de estabilidad, calculando las curvas de momento de adrizado o capacidad del SFP para regresar a la verticalidad respecto al ángulo de escora (volteo o inclinación) debido al empuje del viento, ver figura 4.9.

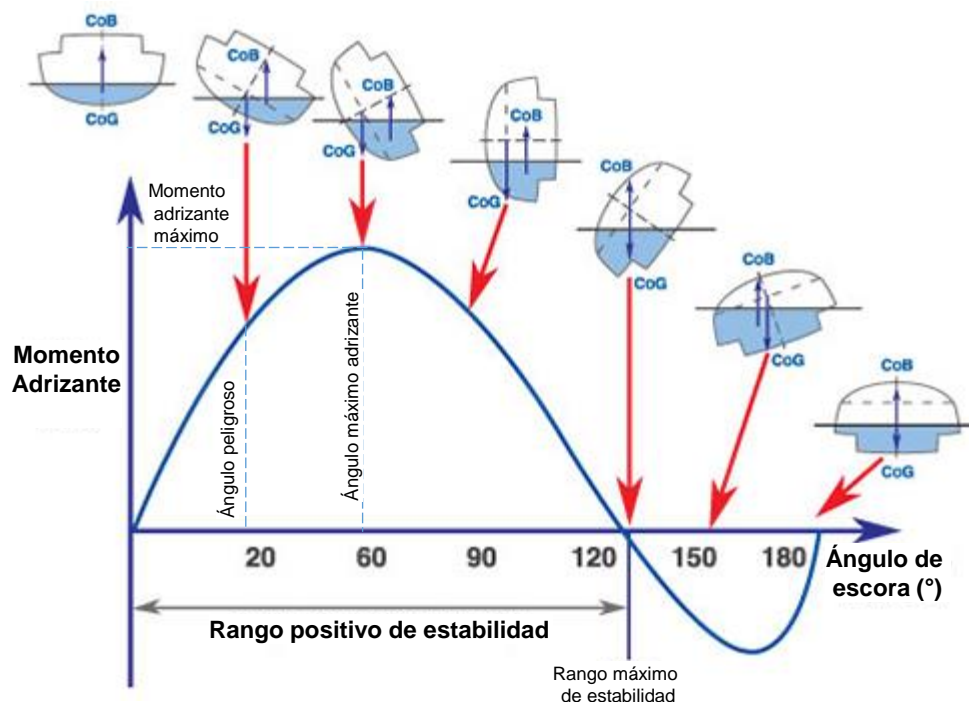


Figura 4.9 Curva de estabilidad (momento adrizante vs. ángulo de escora).

La construcción de las curvas de adrizado y escora, están reguladas por normas internacionales y locales y deberán cumplirse para garantizar la estabilidad del sistema.

Las regulaciones de estabilidad se establecen para las condiciones intacta y dañada. En este trabajo, queda fuera del alcance la revisión de la estabilidad en condición de daño.

Dentro de las distintas regulaciones normativas tenemos:

- Organizaciones Internacionales (IMO e ISO)
- Sociedades Clasificadoras (ABS, DNVGL, LR, BV)
- Banderas de Estado (USGC, NMD)
- Estados Costeros (BSEE, UK H&SE, NPD)

En el capítulo 2, tabla 2.21, se resumen los requisitos de estabilidad comparando las regulaciones de las principales autoridades normativas.

Los estándares para la estabilidad intacta de la mayoría de las autoridades reguladoras son similares, pero existen diferencias en algunos requisitos específicos (como los valores de ángulos limitantes y el valor mínimo de GZ).

Hay diferencias importantes entre los estándares de estabilidad en cuanto a los daños adoptados por las diferentes autoridades reguladoras (como las áreas de daños e inundaciones especificadas). También existen ambigüedades en las definiciones del eje crítico de escora y entre los procedimientos de análisis de "inclinación libre" y "giro libre". Esto queda finalmente como responsabilidad del usuario, ya que deberá de tomar decisiones en cuanto a los criterios que se usen en el análisis y diseño de los SFP.

Para los casos de estudio propuestos, se consideraron las regulaciones de IMO-MODU.

Cuando el modelo propuesto, no cumplió con las regulaciones de estabilidad, se regresó a generar un nuevo modelo, cambiando algunos de los parámetros de diseño del casco enunciados en la sección 4.1, como el calado o el porcentaje de llenado de los tanques de lastre.

4.1.3 Análisis hidrodinámico

Para llegar al análisis hidrodinámico, el modelo generado con la herramienta computacional debió haber cumplido con los requisitos de estabilidad intacta, por lo que se aprovechan los datos generados para el análisis de estabilidad y se inicia con el análisis hidrodinámico en el dominio de la frecuencia.

El principio del análisis hidrodinámico es obtener las respuestas (fuerzas o movimientos) del SFP para sus seis grados de libertad, ver figura 4.10, a partir de su interacción con las

condiciones ambientales de tormenta en el sitio de instalación, para un periodo de retorno de 100 años.

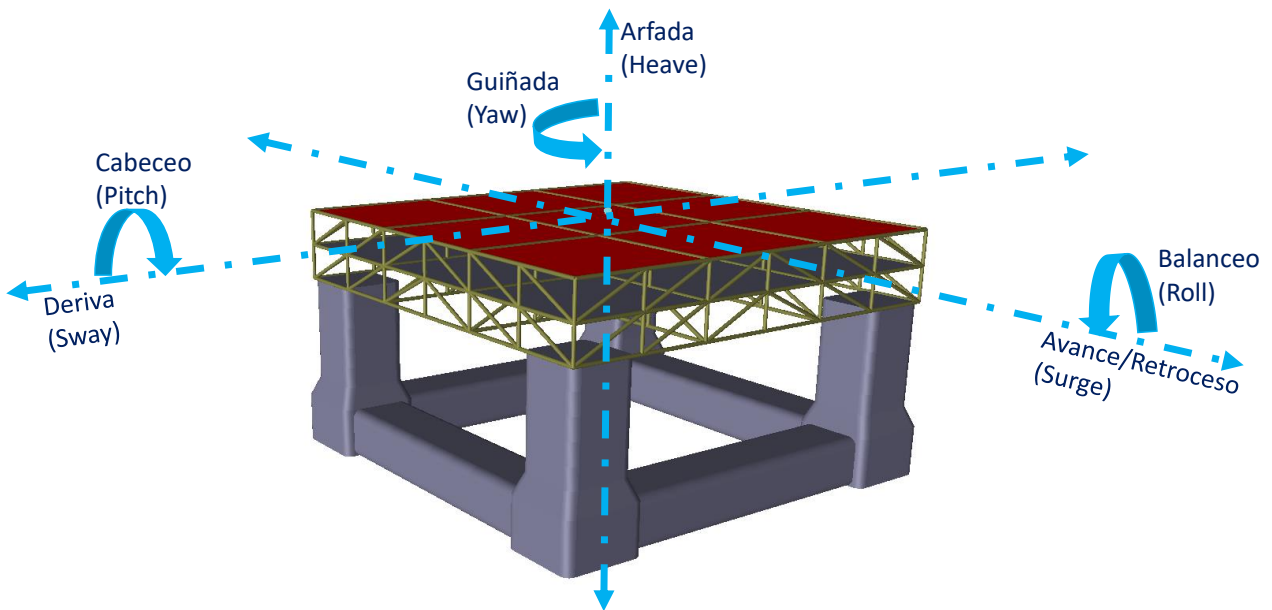


Figura 4.10 Grados de libertad del sistema flotante.

Para el cálculo de las fuerzas hidrodinámicas del SFP, se recurren a la descripción que menciona Faltinsen (1990, p. 40), donde las fuerzas globales son el resultado de la superposición de fuerzas. Primero, las fuerzas de excitación que son producto del movimiento del oleaje sobre el SFP restringido o fijo de moverse. Segundo, las fuerzas hidromecánicas, que son inducidas por el movimiento radial del cuerpo en una superficie de agua sin perturbaciones, ver figura 4.11.

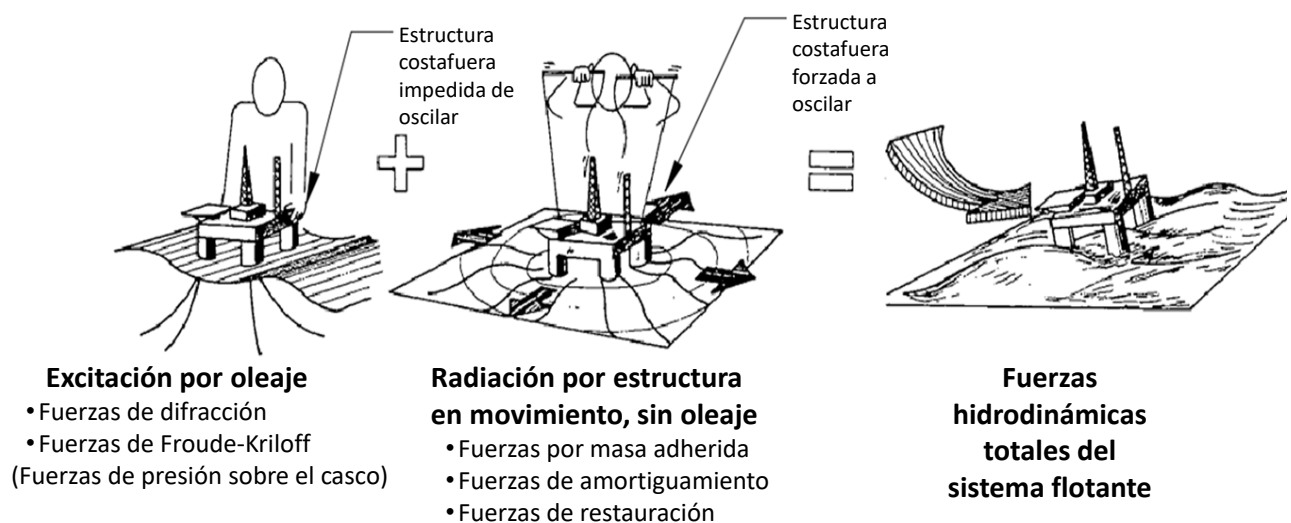


Figura 4.11 Fuerzas hidrodinámicas en un sistema flotante (Faltinsen, 1990). (Modificado por el autor).

Según la normativa de DNV, para el análisis hidrodinámico en condición de tormenta se requiere satisfacer respuestas simultáneas, por lo que es más utilizado el enfoque de la ola de diseño para determinar las fuerzas máximas de semisumergibles. Las ventajas del enfoque estocástico se aprovechan mediante el uso de los valores estocásticos extremos de algunos parámetros característicos de la respuesta en la selección de los parámetros de la ola de diseño.

En el capítulo 2.2 se habló del procedimiento de análisis en condiciones ambientales de tormenta, lo cual se ilustra en el esquema de la figura 2.8 y en la figura 2.9 se observa que las características de la respuesta hidrodinámica global son gobernadas por las resistencias globales de la estructura. El módulo HydroD del programa SESAM, con el cuál se generaron los análisis hidrodinámicos del SFP tipo semisumergible propuesto, opera con ese procedimiento.

El proceso de la información generada del análisis hidrodinámico se realizó utilizando otro módulo del SESAM, el POSTRESP, para determinar la respuesta máxima más probable. Para ello, se necesita construir las densidades espectrales para cada estado de mar y para todas las direcciones, después obtener las densidades espectrales de respuesta para cada variable (RAO's) y aplicar el análisis estadístico a corto plazo para una duración del estado de mar de 10,800 segundos (3 horas) con una probabilidad de excedencia de 0.01 (1%).

Por otro lado, para definir los estados de mar necesarios para calcular la respuesta máxima más probable, se recurrió al empleo de contornos de peligro ambiental⁶, para diferentes periodos de retorno, ver figura 4.12. El contorno de peligro total (nortes y huracanes) que se usó fue para periodo de retorno $T_r=100$ años⁷, con el cual se definieron 26 estados de mar, ver figura 4.13

⁶ Los contornos de peligro fueron calculados con los datos del sitio llamado *Cinturón Perdido* en un tirante de agua de 2500 m.

⁷ En el análisis y diseño de estructuras costa afuera, prácticamente todas las normas usan los parámetros ambientales correspondientes a un periodo de retorno de 100 años, se conoce comúnmente como ola de diseño para condiciones extremas de tormenta o huracán.

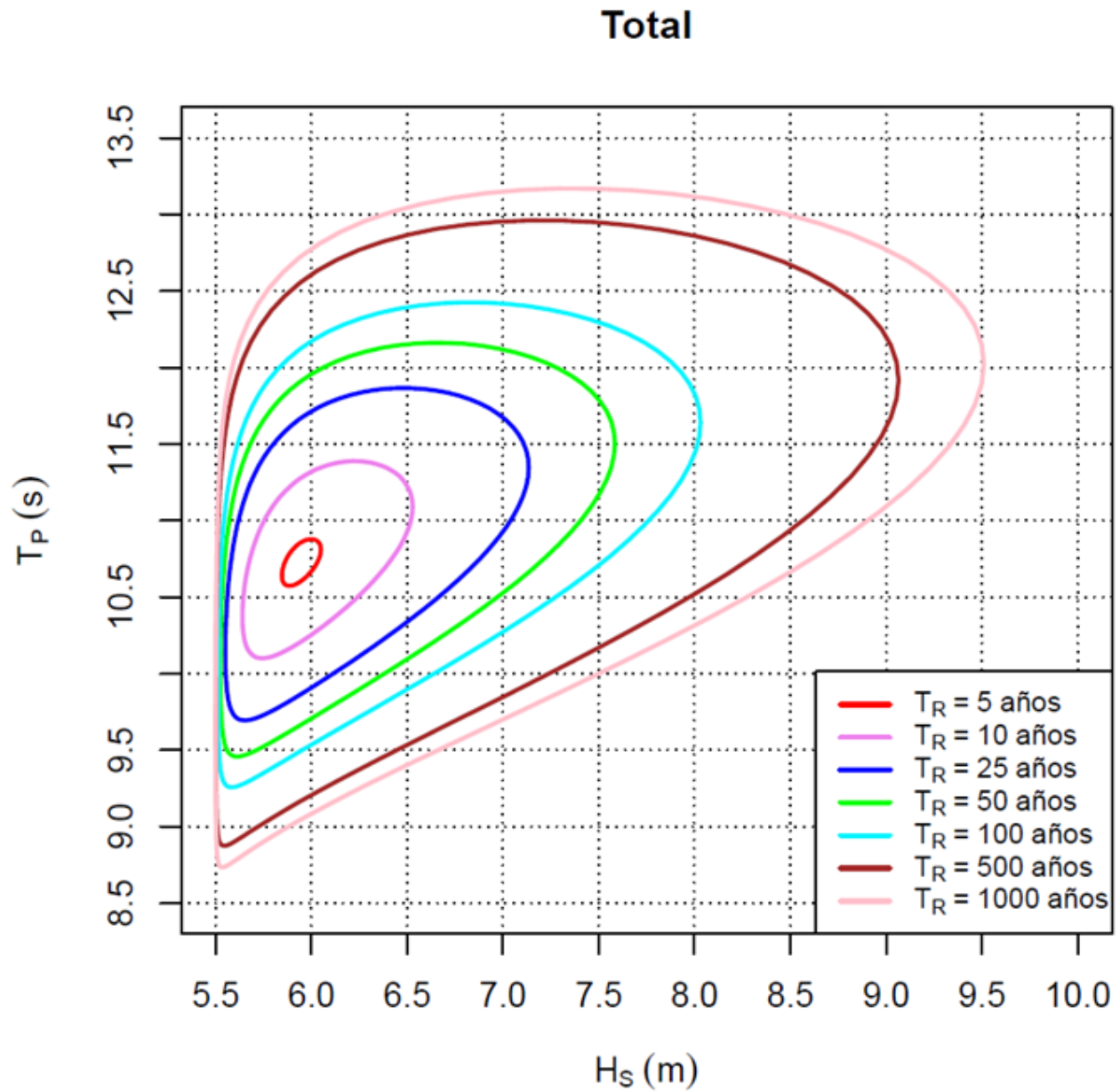


Figura 4.12 Contornos de peligro ambiental para diferentes periodos de retorno.

Para la selección de los 26 estados de mar, se siguió el siguiente criterio. Cuando en un periodo T_P , hay dos valores de altura de ola significativa H_s , se selecciona el valor más alto de H_s y lo mismo cuando los valores T_P son muy próximos.

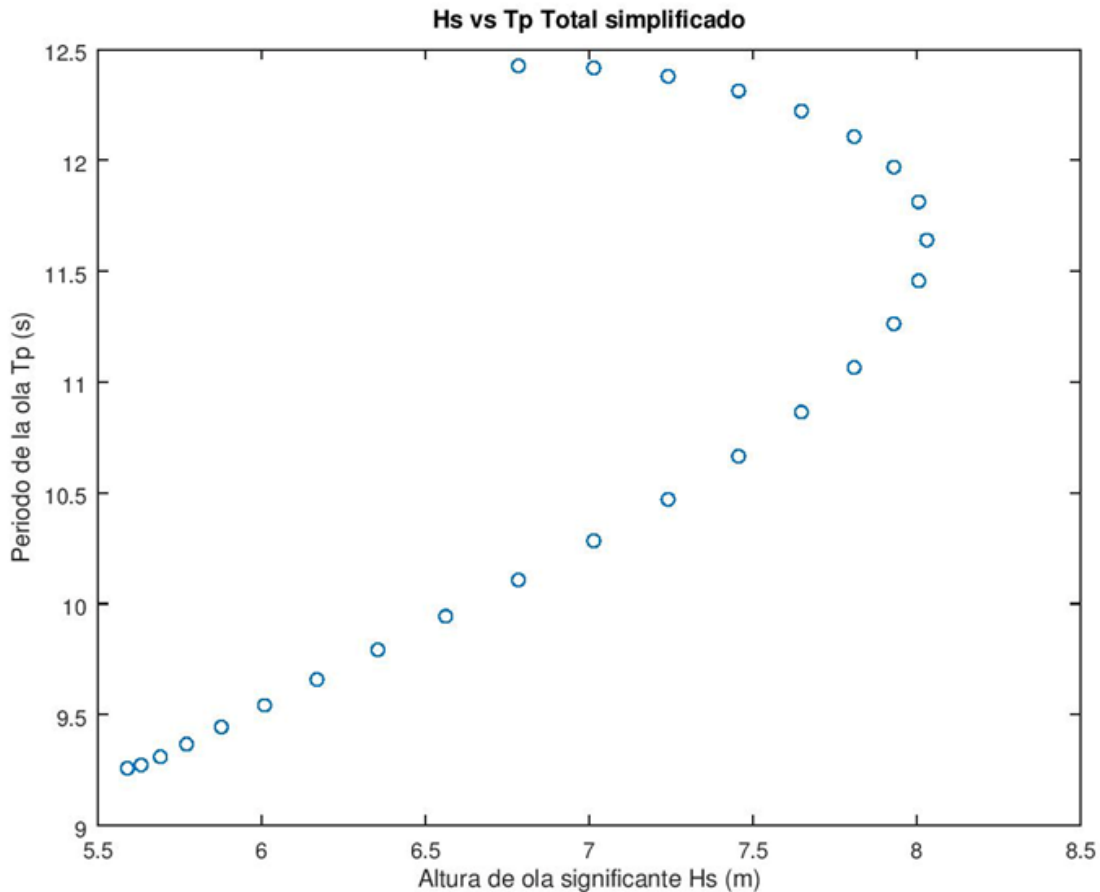


Figura 4.13 Estados de mar filtrados para un periodo de retorno de 100 años.

Para terminar el proceso, se extrae el valor más probable de la respuesta máxima y se repiten los pasos del punto 4.1, se cambia la configuración del casco, las veces que se crean convenientes, hasta identificar el valor mínimo más probable de las respuestas máximas de cada variable de salida.

En el siguiente numeral, se procede a validar el procedimiento con dos configuraciones distintas del casco de un SFP, tipo semisumergible. Se realizaron los análisis de estabilidad e hidrodinámico.

En el procesamiento de resultados, se extrajeron los RAOs y mediante el análisis estadístico a corto plazo, la respuesta máxima esperada, para los seis grados de libertad de movimientos (ver figura 4.10). Por último, para cada grado de libertad, de cada modelo y de cada respuesta, se graficaron las superficies de respuesta. En el numeral 4.2.3 se da una explicación más detallada de las superficies de respuesta.

4.2 Validación del procedimiento

En esta sección, se aplicará el procedimiento de optimización a dos modelos con diferente geometría. La configuración geométrica de los modelos se realizó con la herramienta computacional desarrollada. En seguida se describen ambos modelos.

El modelo 1, es un casco que se construyó con columnas cuadradas, con radio de curvatura en las esquinas, con subdivisiones internas para los tanques de almacenamiento y lastre y con reducción del ancho después del nodo. El nodo es la parte que une las columnas con los pontones, también de geometría cuadrada y con radio de curvatura en las aristas y todo el nodo es un tanque de lastre. Los pontones se unen en la pared de los nodos, también con subdivisiones internas y con radios de curvatura en las esquinas. Una condicionante en la construcción del modelo es que el ancho del pontón siempre será menor que el ancho del nodo.

La superestructura o cubiertas se construyen con armaduras tubulares y el sistema de piso es mediante placas. Las dimensiones de la cubierta se construyeron con la separación de las columnas hasta su paño externo en la parte superior, ver figura 4.14. Se consideraron dos niveles de cubierta.

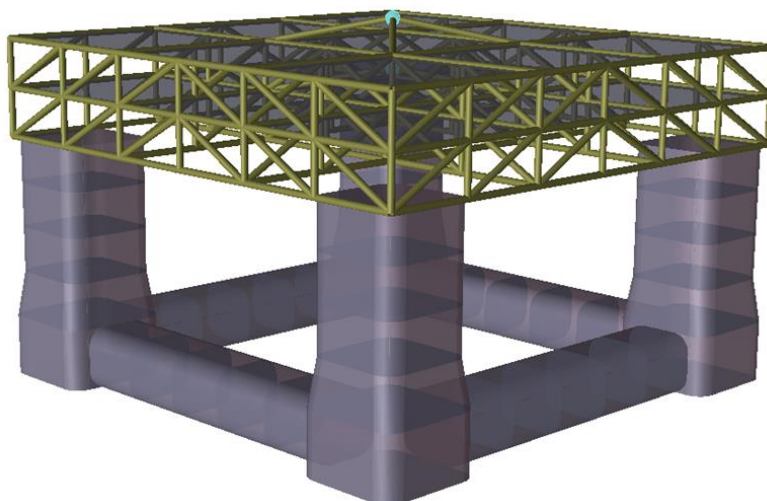


Figura 4.14 Modelo 1, construido con variables parametrizadas del casco y cubiertas.

El modelo 2, es un casco que se construyó con columnas cuadradas, con radio de curvatura en las esquinas, con subdivisiones internas para los tanques de almacenamiento y lastre y con reducción del ancho después del nodo. El nodo es la parte que une las columnas con los pontones, también de geometría cuadrada y con radio de curvatura en las aristas y todo el nodo es un tanque de lastre. Los pontones se unen en la pared de los nodos, y se reducen sus dimensiones después del nodo, igualmente con subdivisiones internas para simular los tanques de lastre y con radios de curvatura en las esquinas.

La superestructura o cubierta es única, es una caja que se armó a base de placas y con una altura similar a las dos cubiertas del modelo 1. Ver figura 4.15.

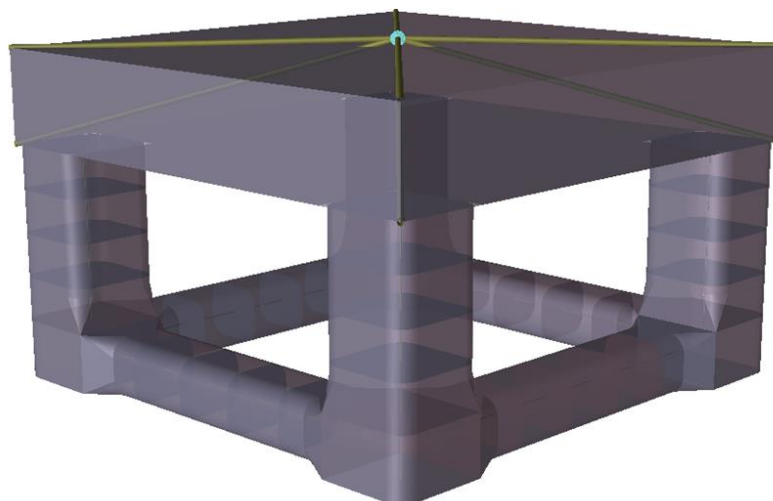


Figura 4.15 Modelo 2, construido con variables parametrizadas del casco y cubiertas.

Para ambos modelos, el peso de los equipos se calculó mediante una carga uniformemente distribuida sobre el área de la cubierta y luego se convirtió en masa y se concentró en el punto aproximado al centro de gravedad del peso del equipo. Esta se puede observar en la figura 4.14 y 4.15, mediante el punto azul.

Las dimensiones generales de los modelos son las siguientes:

Tabla 4.1. Dimensiones del casco, cubierta y sus elementos.

Concepto	Dimensiones		
	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)
Columnas	16	16	30
Pontón	12	54	10
Nodos	18	18	10
Casco	90	90	40
Cubiertas	90	90	20

Para considerar la contribución del amortiguamiento viscoso en la respuesta de ambos modelos, se debe adicionar un submodelo con elementos esbeltos para calcular las fuerzas viscosas (modelo de Morison).

Los análisis se realizaron usando el módulo HydroD de programa SESAM, los resultados se muestran en el numeral 4.2.1 y 4.2.2.

Para ejecutar el análisis de estabilidad, se requiere como dato de entrada, las condiciones del sitio (tirante de agua), el peso del lastre y el calado inicial del casco del SFP, esto, para calcular el equilibrio estático. Se define el código a emplear (para nuestros casos de estudio se utilizó IMO-MODU) para la revisión de la estabilidad sólo para la condición intacta.

4.2.1 Resultados del análisis de estabilidad

4.2.1.1 Modelo 1

Se realizó para un calado de 18 metros y considerando los tanques de los pontones completamente llenos de agua de mar; el análisis de balance estático (masa vs desplazamiento) se realizó con los tanques de los nodos (conexión entre columna y pontón).

Para calcular el momento de escora, se utilizaron las reglas de la IMO-MODU, con una velocidad de viento en operación de 36 (m/s) y para la condición de tormenta extrema una velocidad de viento de 51.5 (m/s).

Los resultados del balance estático, considerando el calado y el lastre en los tanques asignados se pueden observar en la figura 4.16. Las distancias mostradas son a partir de la quilla (la parte más baja del casco).

Stability Report				
Stability analysis: StabilityAnalysis1				
GZ-Curve Moment of Force Openings Cross Section Data Information				
	Result Variable	Value (X)	Y	Z
1	Metacentric Height GM (with FSC)	5.299254937 m		
2	Metacentric Height GM (without FSC)	5.904674782 m		
3	Free surface correction FSC	0.6054198452 m		
4	Total mass (Damaged) (including compartment contents)	45274706.3 Kg		
5	Total mass (without compartment contents)	38177869.1 Kg		
6	Center of gravity (Damaged)	2.426068673e-006 m	2.414084151e-006 m	29.37946426 m
7	Center of gravity (without compartment contents)	3.176742977e-007 m	2.99625373e-007 m	34.52318378 m
8	Center of gravity (with compartment contents in metacenter)	2.426068673e-006 m	2.414084151e-006 m	29.9848841 m
9	Buoyancy volume	45637.46262 m ³		
10	Buoyancy mass	46778399.18 Kg		
11	Center of buoyancy	7.574694146e-006 m	4.794611226e-006 m	6.725961111 m
12	Center of flotation	-1.3078803e-005 m	1.307635901e-005 m	18 m
13	Trim moment	1.310076146e+010 N*m		
14	Panel model block coefficient	0.3130141469		
15	Projected XZ area above waterline	1290.000513 m ²		
16	Center projected XZ area above waterline	5.735289375e-016 m		20.12859454 m
17	Projected XZ area below waterline	1163.433263 m ²		
18	Center projected XZ area below waterline	9.599900555e-017 m		-10.92641651 m
19	Deck immersion heel angle negative side	-22.95445486 deg		
20	Deck immersion heel angle positive side	22.95445196 deg		

Figura 4.16. Resultados del análisis de estabilidad mediante el módulo de HydroD.

En la figura 4.17, se muestran la curva típica que se obtienen del análisis de estabilidad. La línea continua en color azul representa el momento adrizante y la línea punteada en color café representa el momento de escora, ambos graficados contra la misma variación del ángulo de escora.

En la figura 4.18, se muestra la variación del momento flexionante a lo largo de la sección transversal del casco del SFP en el eje X. Para construir este diagrama, se requiere indicar el número de secciones transversal en el plano YZ respecto al origen, donde se calculará el momento flexionante o cualquier otra variable de interés. En nuestro caso se declararon 10 secciones transversales antes y 10 secciones transversales después del origen.

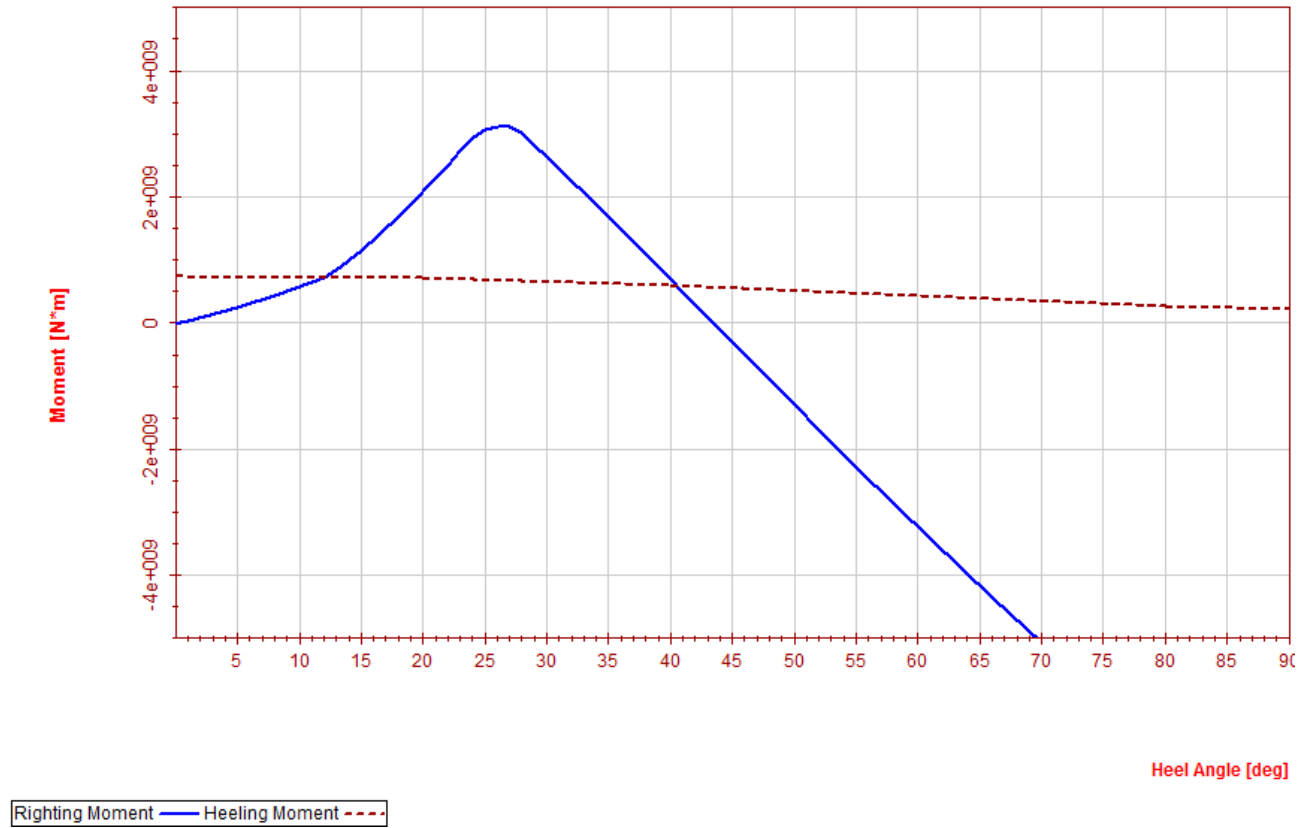


Figura 4.17 Curvas estabilidad: momento adrizante y momento escorante.

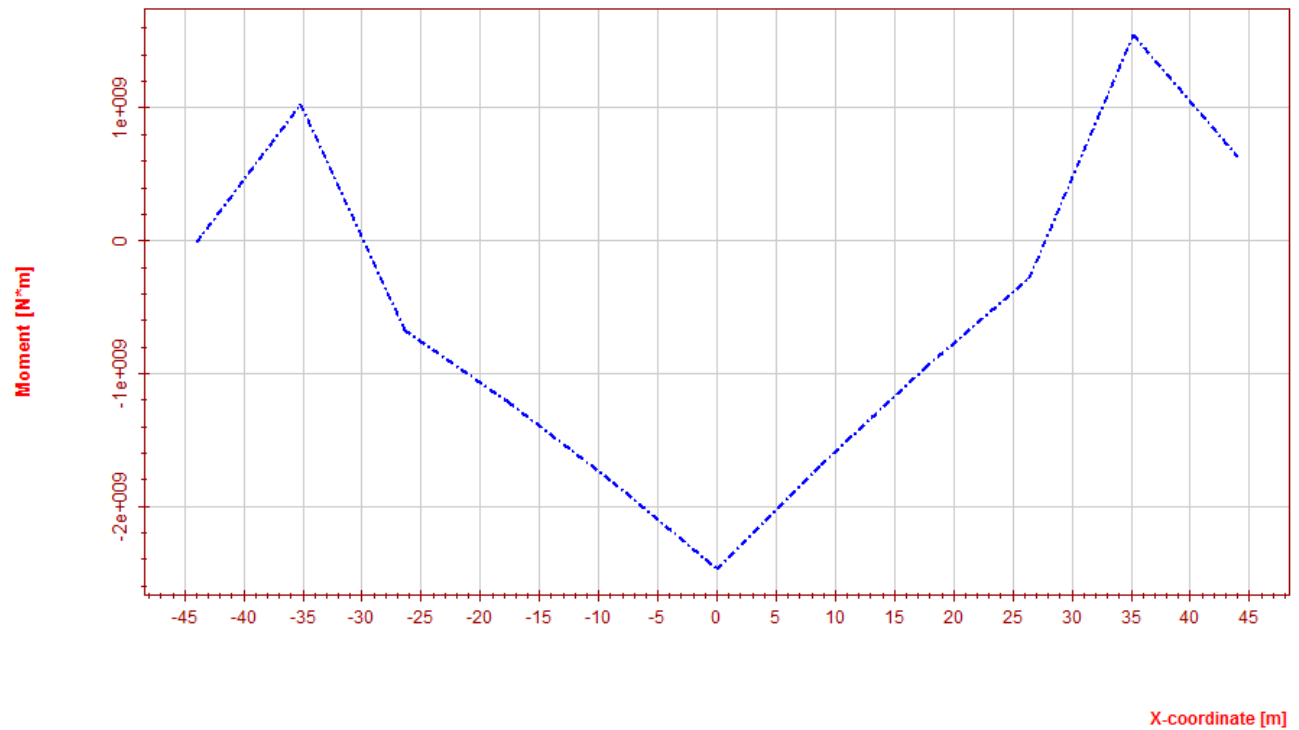
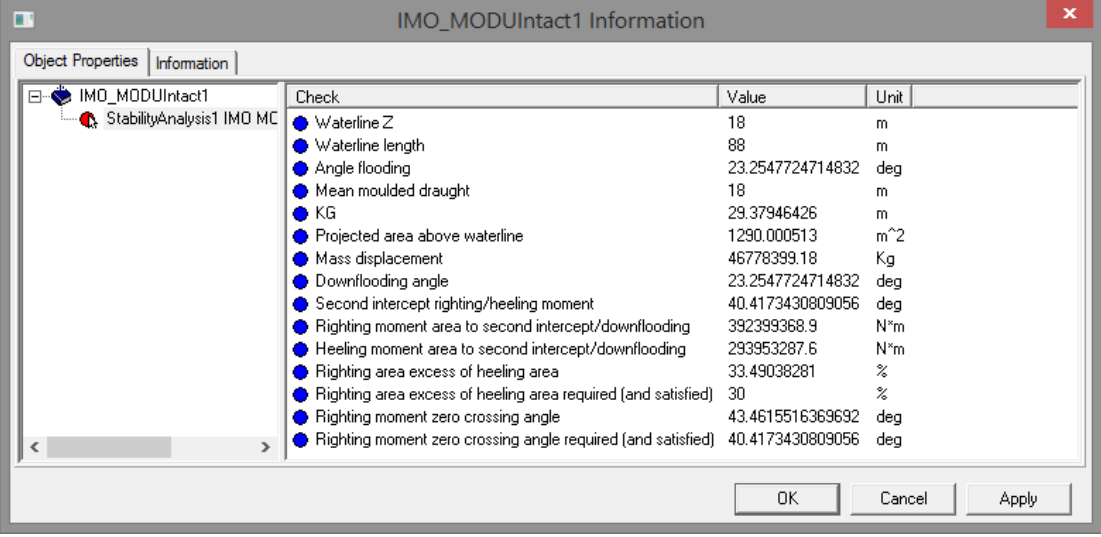


Figura 4.18 Diagrama de momentos flexionantes a lo largo de la sección transversal.

Por otro lado, se hizo la revisión del análisis de estabilidad mediante la aplicación de las reglas de IMO-MODU, para condición intacta. Como se puede ver en la figura 4.19, la relación de áreas de las curvas del momento de escora y de adrizado es de 33.5% y la norma pide que sea mayor a 30%. El ángulo de inundación debe ser mayor a 7° y el resultado obtenido de acuerdo con la configuración del casco y calado es 23°, por lo que sigue cumpliendo. De esta manera se cumple con los requisitos de estabilidad en ambos casos.



The screenshot shows a software window titled "IMO_MODUIntact1 Information". It contains a table with the following data:

Check	Value	Unit
Waterline Z	18	m
Waterline length	88	m
Angle flooding	23.2547724714832	deg
Mean moulded draught	18	m
KG	29.37946426	m
Projected area above waterline	1290.000513	m ²
Mass displacement	46778399.18	Kg
Downflooding angle	23.2547724714832	deg
Second intercept righting/heeling moment	40.4173430809056	deg
Righting moment area to second intercept/downflooding	392399368.9	N*m
Heeling moment area to second intercept/downflooding	293953287.6	N*m
Righting area excess of heeling area	33.49038281	%
Righting area excess of heeling area required (and satisfied)	30	%
Righting moment zero crossing angle	43.4615516369692	deg
Righting moment zero crossing angle required (and satisfied)	40.4173430809056	deg

Figura 4.19 Revisión de la estabilidad intacta de acuerdo con IMO –MODU.

4.2.1.2 Modelo 2

Se realizó para un calado de 18 metros y considerando los tanques de los pontones completamente llenos, el análisis de balance estático (masa vs desplazamiento) se realizó con los tanques de los nodos (conexión entre columna y pontón).

Para calcular el momento de escora, se utilizaron las reglas de la IMO-MODU, con una velocidad de viento en operación de 36 (m/s) y para la condición de tormenta extrema una velocidad de viento de 51.5 (m/s).

Los resultados del balance estático, considerando el calado, y el lastre en los tanques asignados se pueden observar en la figura 4.20. Las distancias mostradas son a partir de la quilla (la parte más baja del casco).

Stability Report				
Stability analysis: StabilityAnalysis1				
GZ-Curve Moment of Force Openings Cross Section Data Information				
	Result Variable	Value (X)	Y	Z
1	Metacentric Height GM (with FSC)	11.46525915 m		
2	Metacentric Height GM (without FSC)	12.20013424 m		
3	Free surface correction FSC	0.7348750872 m		
4	Total mass (Damaged) (including compartment contents)	46437836.6 Kg		
5	Total mass (without compartment contents)	39120942.63 Kg		
6	Center of gravity (Damaged)	1.402736129e-006 m	1.054791071e-006 m	24.78312606 m
7	Center of gravity (without compartment contents)	1.683995301e-006 m	8.56373409e-007 m	29.13036729 m
8	Center of gravity (with compartment contents in metacenter)	1.40273613e-006 m	1.054791071e-006 m	25.51800114 m
9	Buoyancy volume	45261.43343 m ³		
10	Buoyancy mass	46392969.27 Kg		
11	Center of buoyancy	1.707519617e-006 m	2.71154879e-006 m	6.590155051 m
12	Center of flotation	-1.476966325e-005 m	3.246912955e-007 m	18 m
13	Trim moment	1.382763458e+010 N*m		
14	Panel model block coefficient	0.3104350716		
15	Projected XZ area above waterline	2150.224343 m ²		
16	Center projected XZ area above waterline	1.482896674e-016 m		23.80989593 m
17	Projected XZ area below waterline	1151.866466 m ²		
18	Center projected XZ area below waterline	-1.156809156e-015 m		-10.97943228 m
19	Deck immersion heel angle negative side	-22.75889954 deg		
20	Deck immersion heel angle positive side	22.75889894 deg		

Figura 4.20 Resultados del análisis de estabilidad mediante el módulo de HydroD.

En la figura 4.21, se muestran las curvas que se obtienen del análisis de estabilidad para el modelo 2. Ver la descripción anterior.

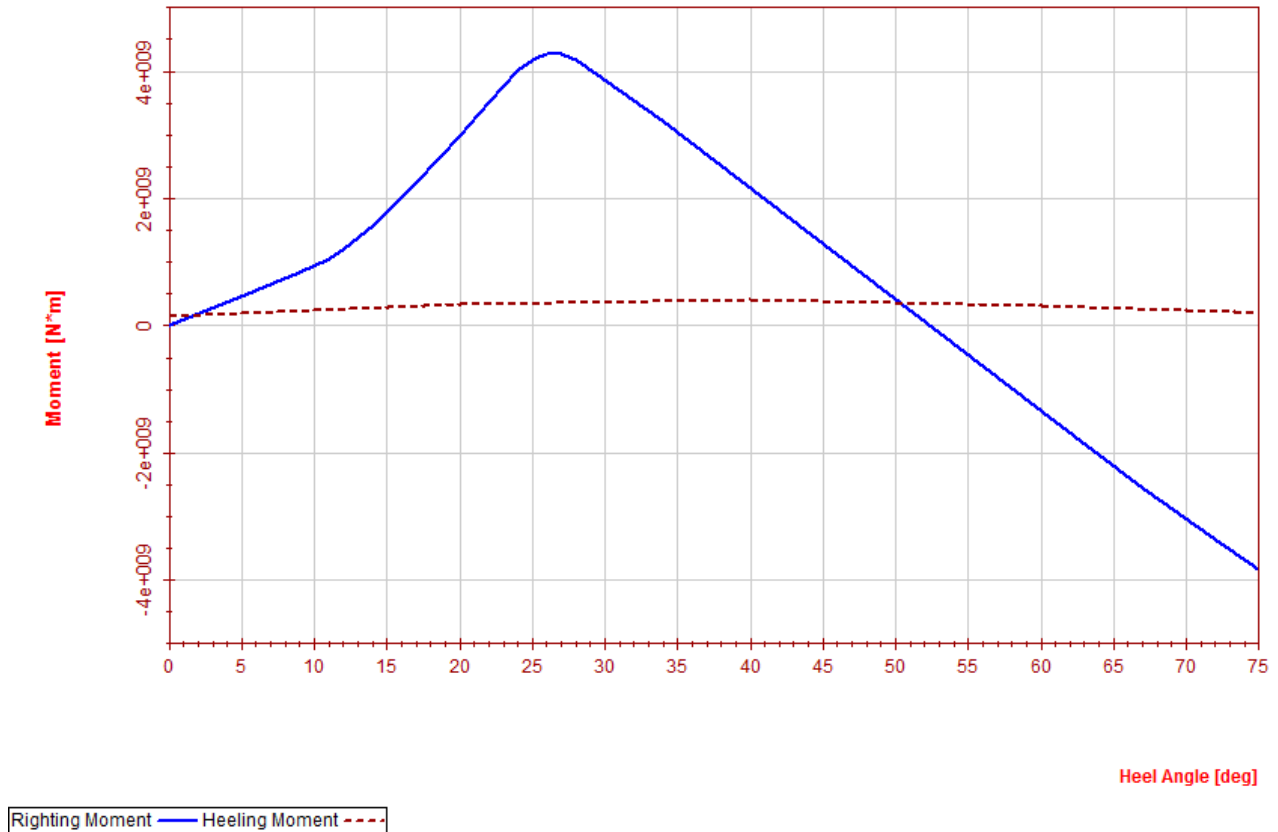


Figura 4.21 Curvas estabilidad: momentos de adrizado y momento de escora.

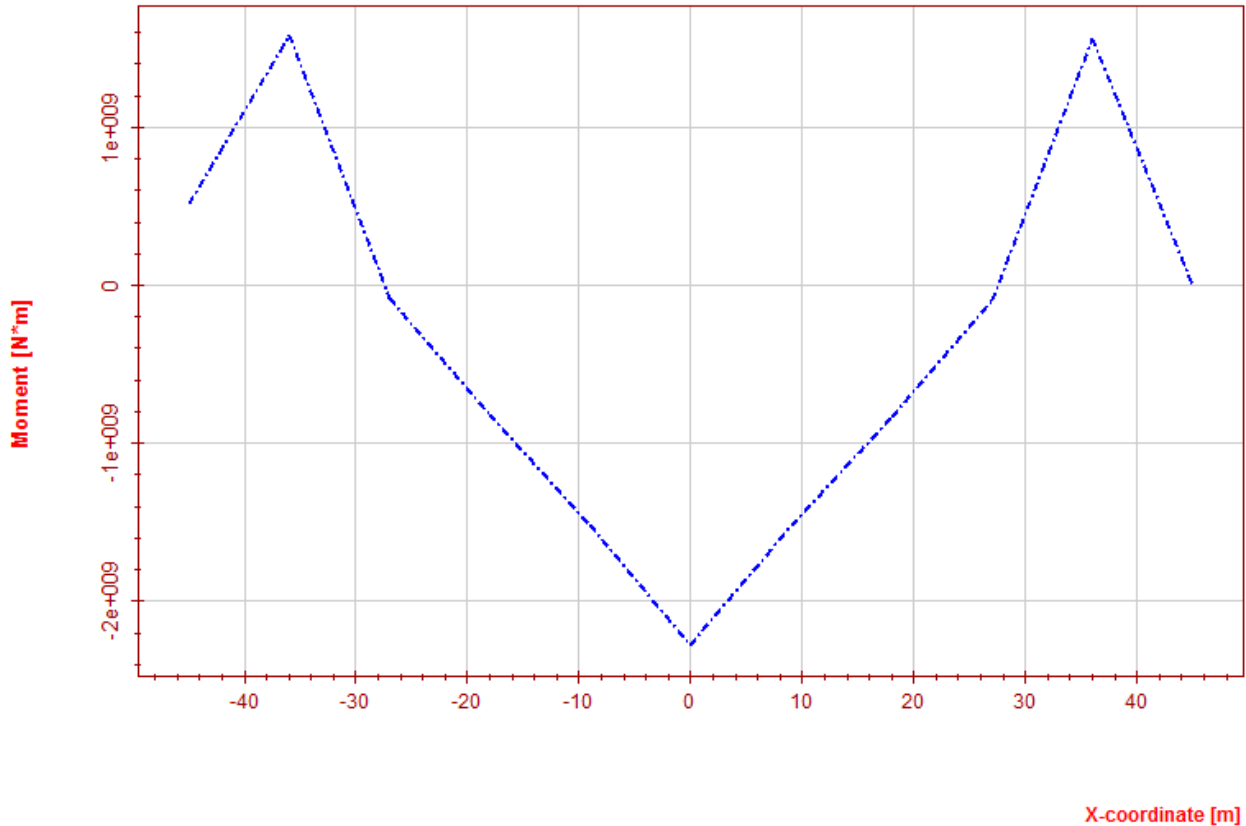


Figura 4.22 Curvas estabilidad: distancia G-Z, momentos (MR-MH) y fuerza a lo largo de la sección transversal.

La revisión de la estabilidad aplicando las reglas de IMO-MODU, para condición intacta y condición dañada, que fue la misma que para el modelo 1.

Se hace la revisión del análisis de estabilidad mediante la aplicación de las reglas de IMO-MODU, para condición intacta. Como se puede ver en la figura 4.23, la relación de áreas de las curvas del momento de escora y de adrizado es de 100% y la norma pide que se a mayor a 30%. El ángulo de inundación debe ser mayor a 7° y el resultado obtenido de acuerdo con la configuración del casco y caldo es 52°, por lo que sigue cumpliendo. De esta manera se cumple con los requisitos de estabilidad en ambos casos.

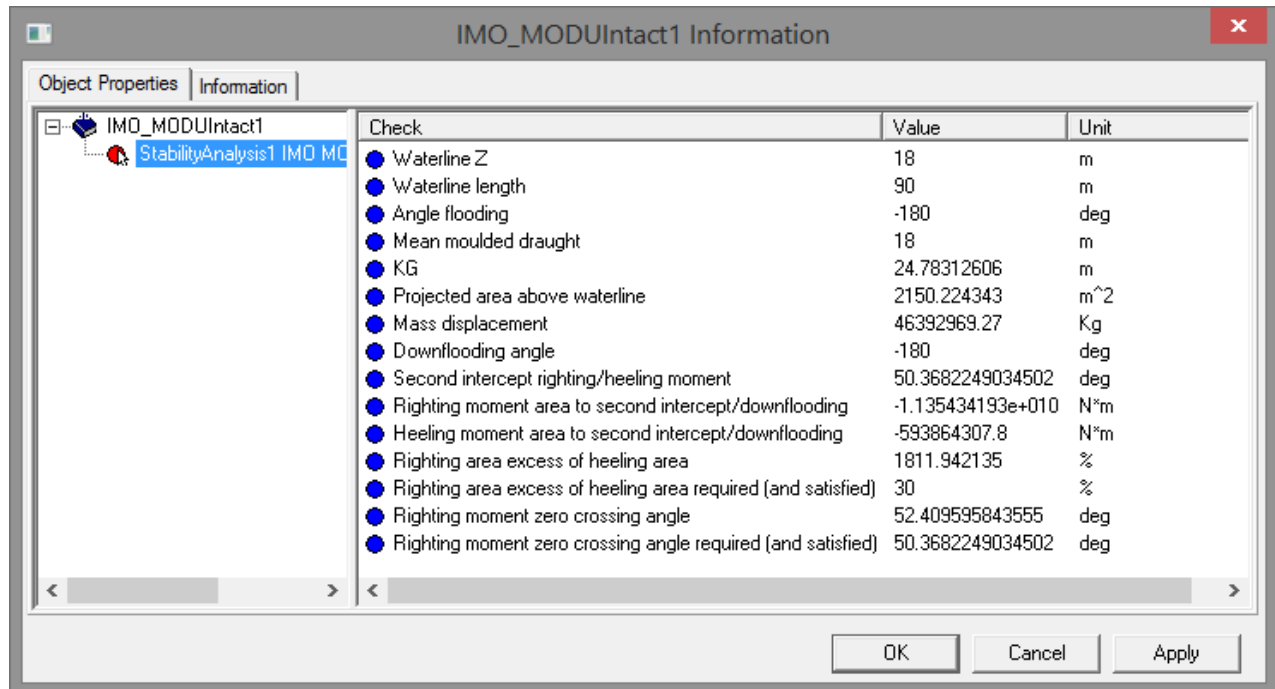


Figura 4.23 Revisión de la estabilidad intacta de acuerdo con IMO –MODU.

4.2.2 Resultados del análisis hidrodinámico

Las condiciones de análisis hidrodinámico fueron las mismas que para el análisis de estabilidad, es decir, mismas condiciones del sitio, en cuanto a calado, lastrado en los tanques, tirante de agua, etc. Por ser estructuras regulares y simétricas en planta, sólo se consideraron 6 direcciones de análisis 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° y 90°. El análisis se realizó considerando un oleaje regular con un contenido de periodos en el rango de 3 s (0.33 Hz) a 35 s (0.0286 Hz) en incrementos de un segundo.

Del análisis hidrodinámico, se obtienen los resultados de las respuestas (RAO's) de cada una de las combinaciones de los seis grados de libertad de movimientos o fuerzas, con los 32 estados de mar y las 7 direcciones de análisis.

Con el módulo XTRACT del programa SESAM, se pueden extraer de manera visual las respuestas para cada variable de salida, RAOs de movimiento del SFP.

En las figuras de la 4.24 a 4.29, se muestra el valor más probable de la respuesta máxima para los movimientos en arfada, cabeceo y balanceo de los dos modelos analizados.

MODELO 1- HEAVE

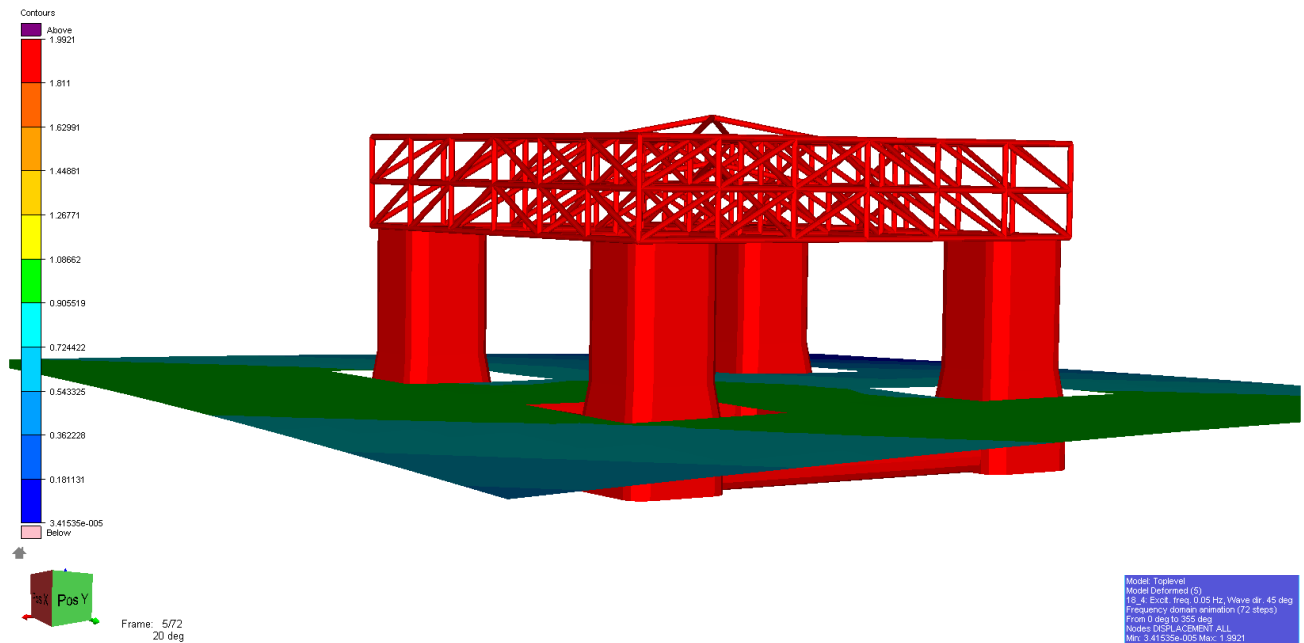


Figura 4.24 Modelo 1. RAO en el grado de libertad arfada (heave).

En la figura 4.24, se muestra el máximo desplazamiento vertical (1.99 m) para el movimiento en arfada, a una frecuencia de 0.05 Hz (20 s) y en una dirección de 45°.

MODELO 2- PITCH

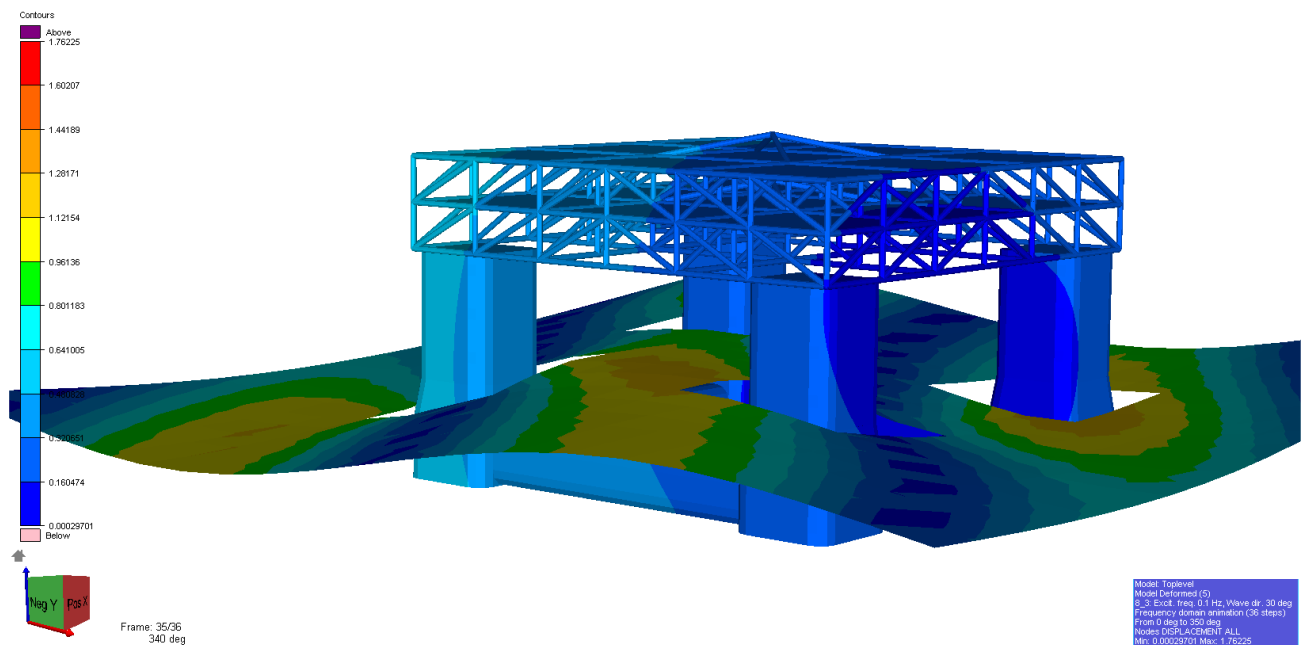


Figura 4.25 Modelo 1. RAO en el grado de libertad cabeceo (pitch).

En la figura 4.25, se muestra el máximo desplazamiento vertical (1.76 m) para el movimiento en cabeceo, a una frecuencia de 0.1 Hz (10 s) y en una dirección de 30°.

MODELO 1- ROLL

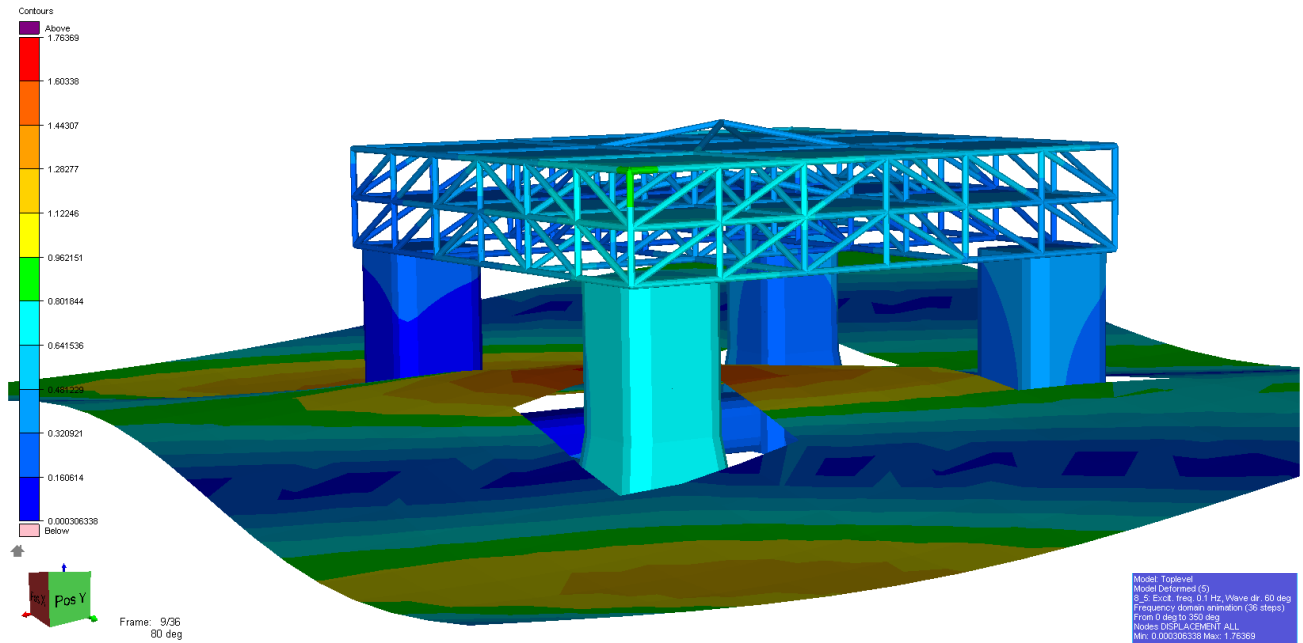


Figura 4.26 Modelo 1. RAO en el grado de libertad balanceo (roll).

En la figura 4.26, se muestra el máximo desplazamiento vertical (1.76 m) para el movimiento en balanceo, a una frecuencia de 0.1 Hz (10 s) y en una dirección de 60°.

MODELO 2- HEAVE

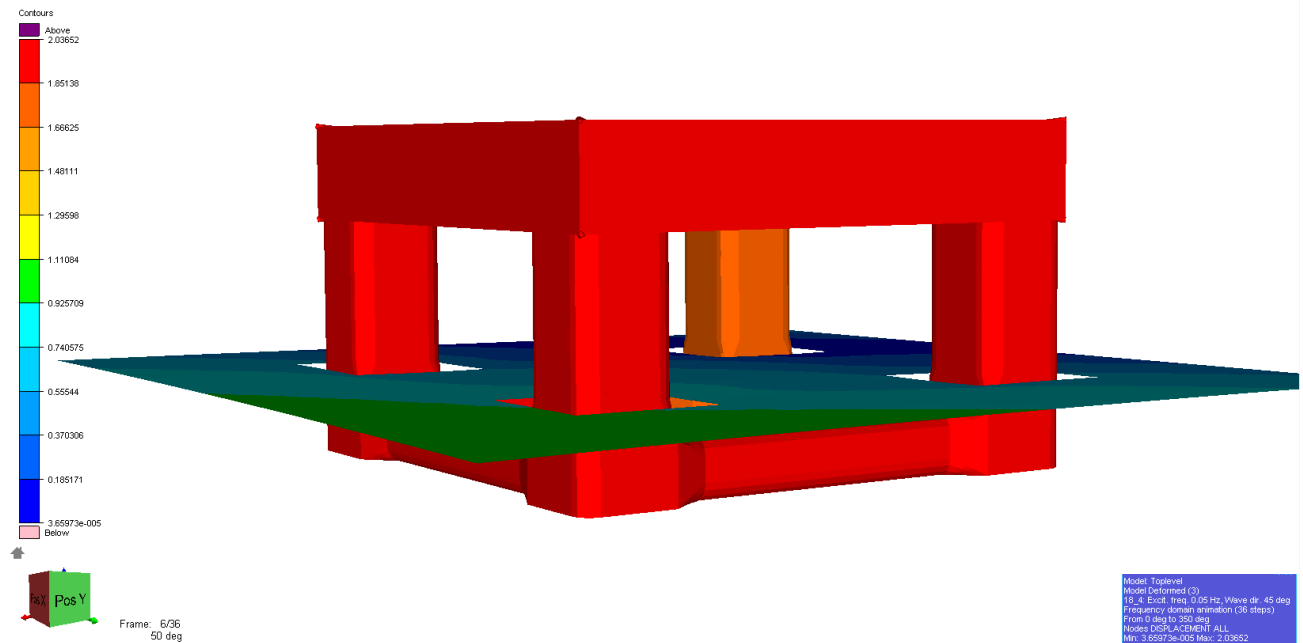


Figura 4.27 Modelo 2. RAO en el grado de libertad arfada (heave).

En la figura 4.27, se muestra el máximo desplazamiento vertical (2.04 m) para el movimiento en arfada, a una frecuencia de 0.05 Hz (20 s) y en una dirección de 45°.

MODELO 2- PITCH

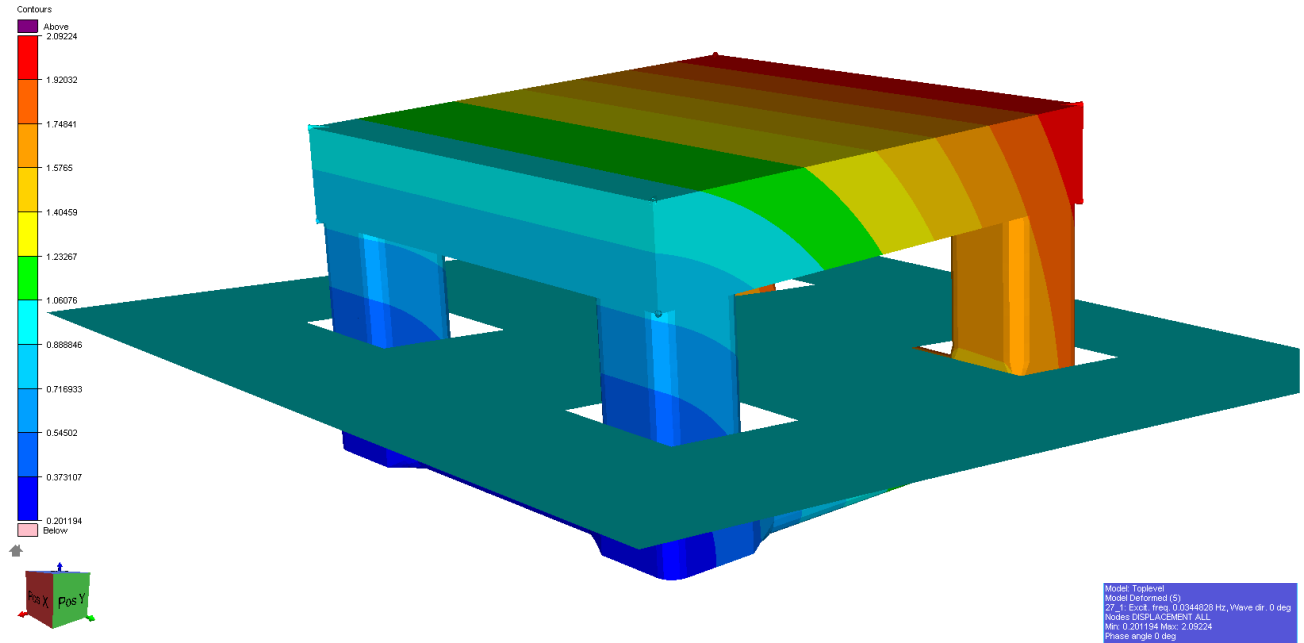


Figura 4.28 Modelo 2. RAO en el grado de libertad cabeceo (pitch).

En la figura 4.28, se muestra el máximo desplazamiento vertical (2.09 m) para el movimiento en cabeceo, a una frecuencia de 0.03448 Hz (29 s) y en una dirección de 0°.

MODELO 2- ROLL

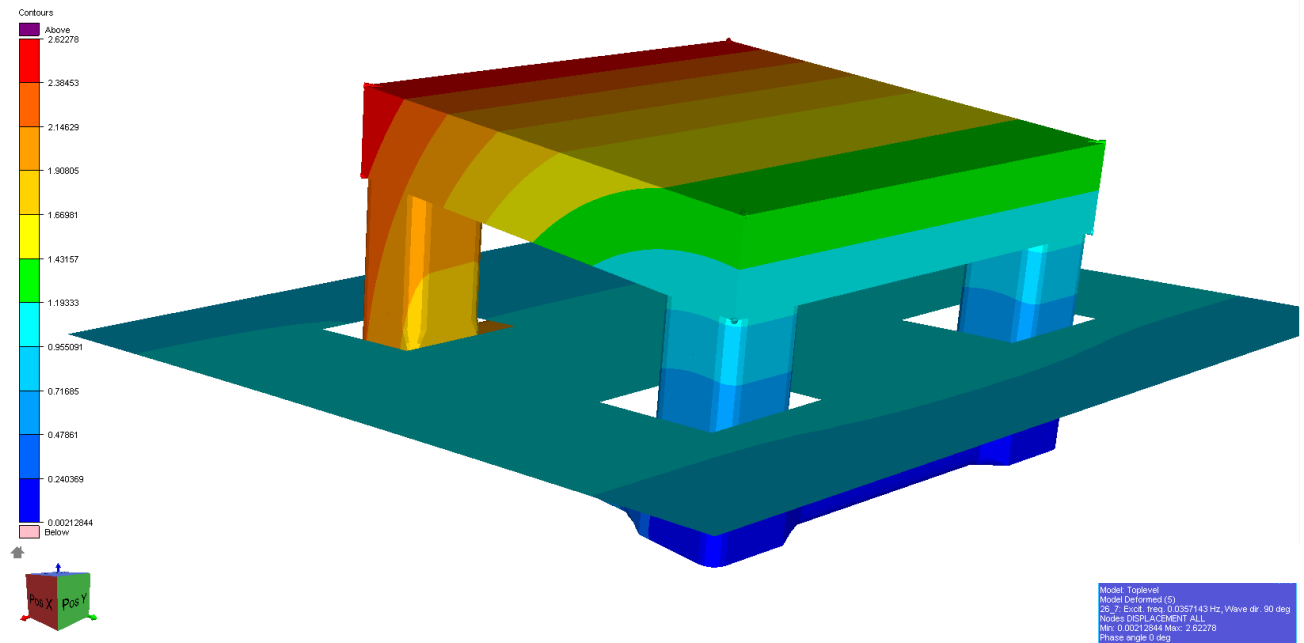


Figura 4.29 Movimientos máximos (RAO) en el grado de libertad de balanceo (roll).

En la figura 4.29, se muestra el máximo desplazamiento vertical (2.62 m) para el movimiento en cabeceo, a una frecuencia de 0.03571 Hz (29 s) y en una dirección de 90°.

4.2.3 Superficies de respuesta

Como ya se ha mencionado anteriormente, después de realizado el análisis hidrodinámico, ya se tiene la información necesaria para el procesamiento de los resultados. El módulo POSTRESP del programa SESAM, permite extraer los resultados de las variables de interés, para movimientos o fuerzas, que pueden ser, la amplitud de la respuesta (RAOs) para cada dirección de análisis.

También se puede realizar un análisis estadístico de la respuesta a corto plazo para extraer el valor más probable de las respuestas máximas esperadas, para ello, se tiene que definir un número de estados de mar (figura 4.13), una ventana de tiempo (3 horas)⁸ y una probabilidad de excedencia de 0.01 (periodo de retorno de 100 años).

Para cada estado de mar se calcula la densidad espectral con la formulación de Pierson-Moskowitz y se multiplica por la función de transferencia (RAO) y se obtiene la densidad espectral para cada combinación de la variable de respuesta, estado de mar y dirección de análisis y aplicando los operadores del análisis estadístico de corto plazo se obtiene el valor más probable de la respuesta máxima (ver procedimiento en la figura 2.9).

Con el fin de determinar cuál de los dos modelos con las mismas condiciones de análisis minimizan la respuesta máxima esperada, se recurre a la construcción de superficie de respuesta.

La superficie de respuesta es un gráfico en 3D, que muestra la variación de la amplitud de la variable de respuesta respecto a otras dos variables. Para el caso de los RAO's, se grafica en el eje Z, la amplitud de la variable de respuesta, en el eje X, el periodo del estado de mar y en el eje Y, la dirección de incidencia del estado de mar. Para el valor más probable de la respuesta máxima, se grafica en el eje Z la magnitud de la variable de respuesta, en el eje X el número de la densidad espectral del estado de mar y en el eje Y la dirección de incidencia en la que se construyó la densidad espectral del estado de mar.

Las superficies de respuesta se construyeron para los grados de libertad: arfada (heave), balanceo (roll) y cabeceo (pitch). Las figuras 4.30, 4.31 y 4.32 son la comparación de los RAOs y las figuras 4.33, 4.34 y 4.35 son la comparación de los valores más probables de las respuestas máximas.

⁸ Se utilizaron las recomendaciones de la norma DNVGL-RP-C103-2015, p.23.

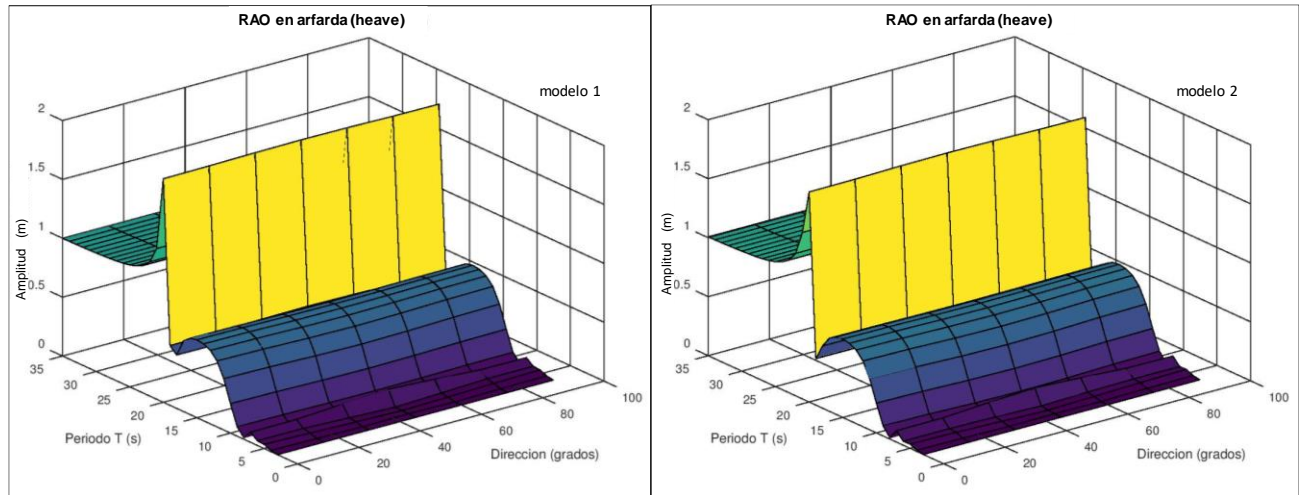


Figura 4.30 Superficie de respuesta para el RAO en arfada (heave).

En la figura 4.30 se muestran las respuestas de la variable de movimiento vertical (RAO en arfada) de ambos modelos. La máxima amplitud de la respuesta en ambos modelos es en un periodo de 20 s (0.05 Hz), esta se mantiene constante en todas las direcciones de análisis. La respuesta del modelo 1 es ligeramente mayor que la del modelo 2, pero ambas son muy similares.

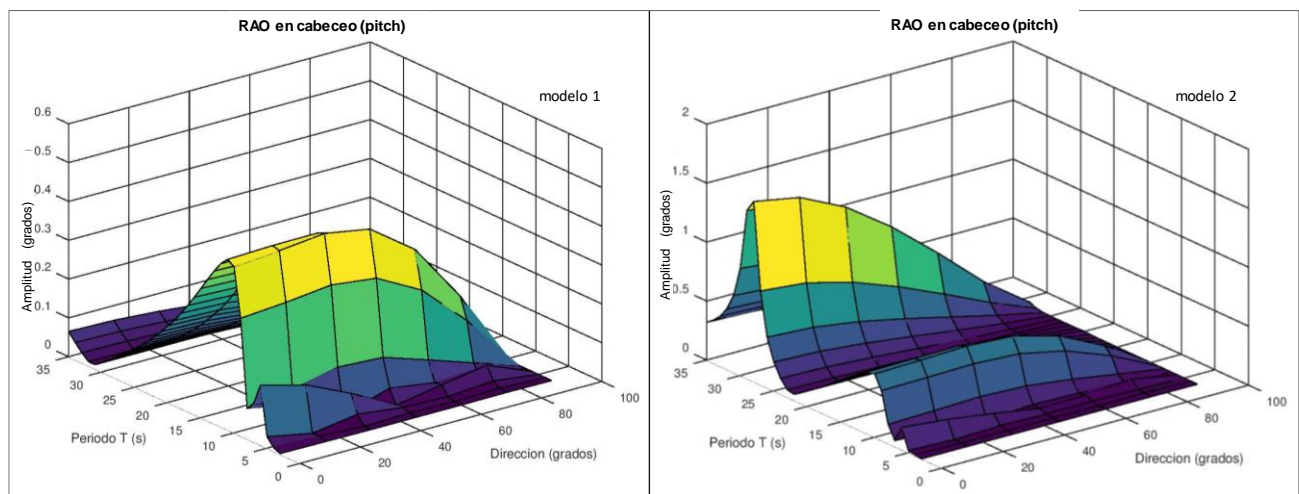


Figura 4.31 Superficies de respuesta para el RAO en cabeceo (pitch).

En la figura 4.31 se muestran las respuestas de la variable de movimiento rotacional (RAO en cabeceo) de ambos modelos. La máxima amplitud de la respuesta en el modelo 1 está alrededor de la 10 s y tiene un máximo de 0° a los 45° y luego decrece a 0 en los 90°. El modelo 2 tiene el máximo en los 29 s (0.34 Hz) y en 0° y decrece a cero a los 90°. Comparando ambas respuestas, tiene un comportamiento diferente y el modelo 2 es en amplitud casi 4 veces la del modelo 1.

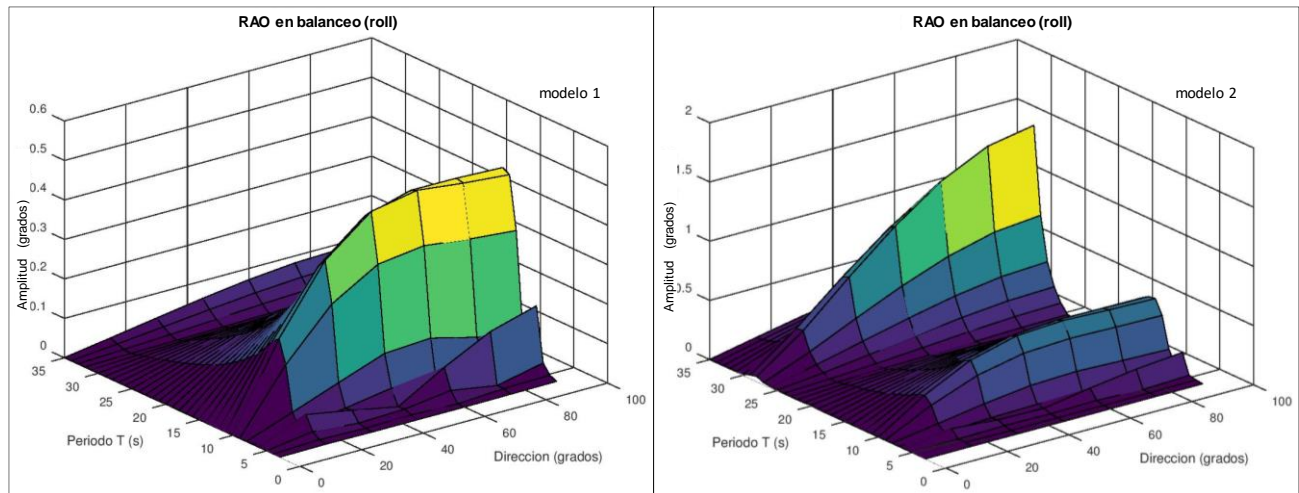


Figura 4.32 Superficies de respuesta para el RAO en balanceo (roll).

En la figura 4.32 se muestran las respuestas de la variable de movimiento rotacional (RAO en balanceo). Ambos modelos presentan el mismo comportamiento que para el RAO en cabeceo, esto se debe, a que el SFP ser una estructura regular y simétrica, por lo tanto, la respuesta en balanceo presenta valores muy similares que el cabeceo, pero desfasados 90° .

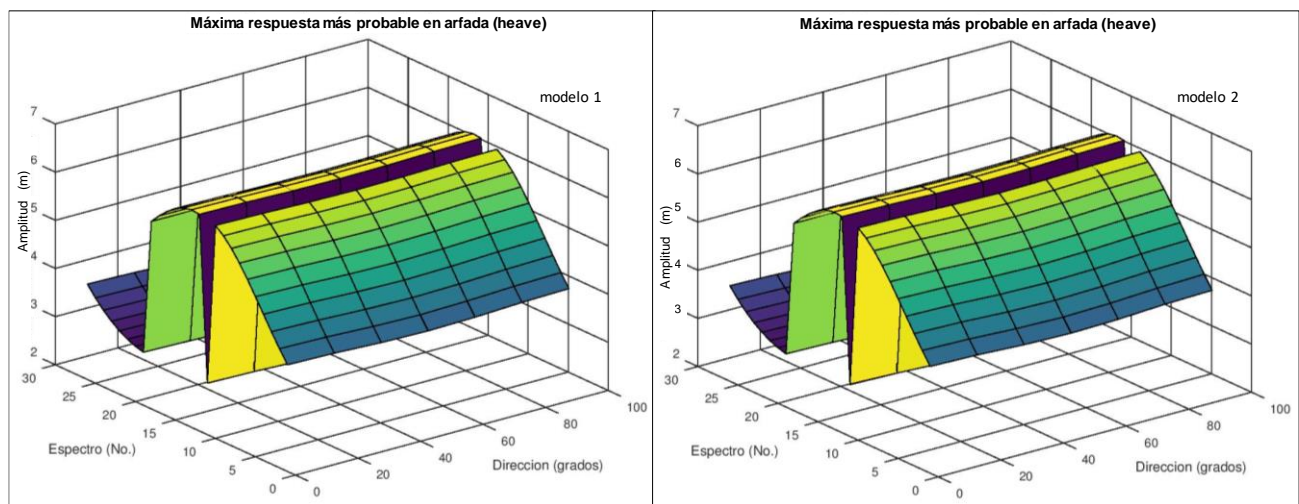


Figura 4.33 Superficie de respuesta máxima más probable esperada en arfada (heave).

En la figura 4.33 se muestran los valores más probables de las respuestas máximas de la variable de movimiento vertical (RAO en arfada). La amplitud de la respuesta en ambos modelos es idéntica. Se observan dos respuestas máximas, la mayor es con la densidad espectral de oleaje número 13 que corresponde al estado de mar con los parámetros $T_z=7.6$ s y $H_s=7.5$ m. En ambos casos a 45° la amplitud de la respuesta tiene una disminución y en sus extremos a 0° y 90° tiene la máxima.

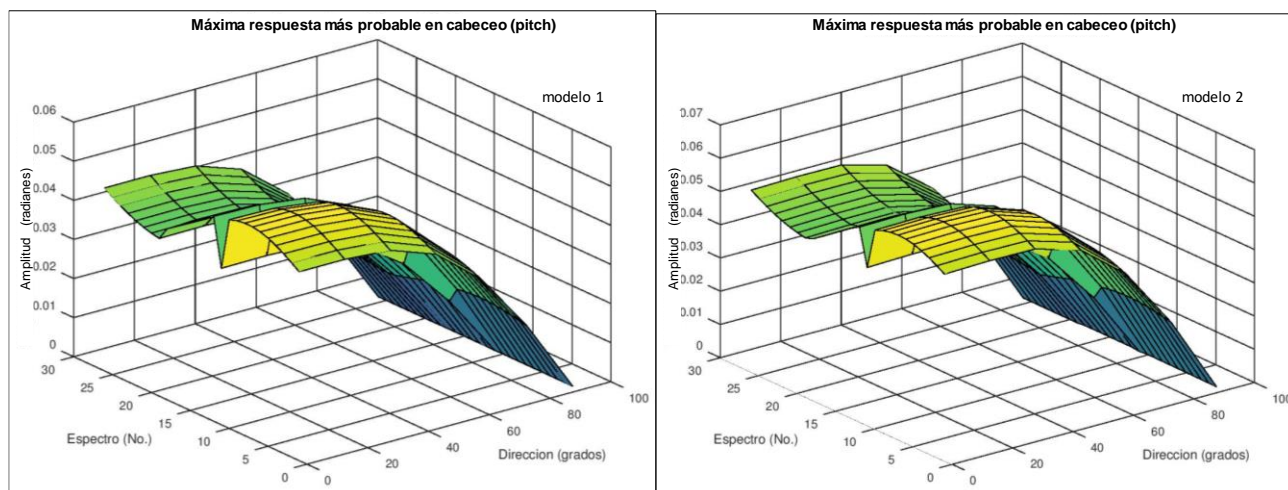


Figura 4.34 Superficie de respuesta máxima más probable esperada en cabeceo (pitch).

En la figura 4.34 se muestran los valores más probables de las respuestas máximas de la variable de movimiento rotacional (cabeceo). Ambos modelos presentan un comportamiento similar en la forma, pero el modelo 2 son mayores las amplitudes. Los modelos presentan un máximo con la densidad espectral de oleaje número 7 que corresponde al estado de mar con los parámetros $T_z=6.9$ s y $H_s=6.2$ m. También se puede observar que la respuesta tiene un máximo en 0° y tiende a disminuir a cero en lo 90° . Esto es comprensible, dado que el movimiento de cabeceo es el giro alrededor del eje Y y siempre será mayor en valores cercanos en la dirección de 0° y conforme se acerca a 90° tiene a desaparecer y se convierte en giro alrededor del eje X o movimiento de balanceo, por eso se comentó anteriormente que ambas respuestas están desfasadas 90° .

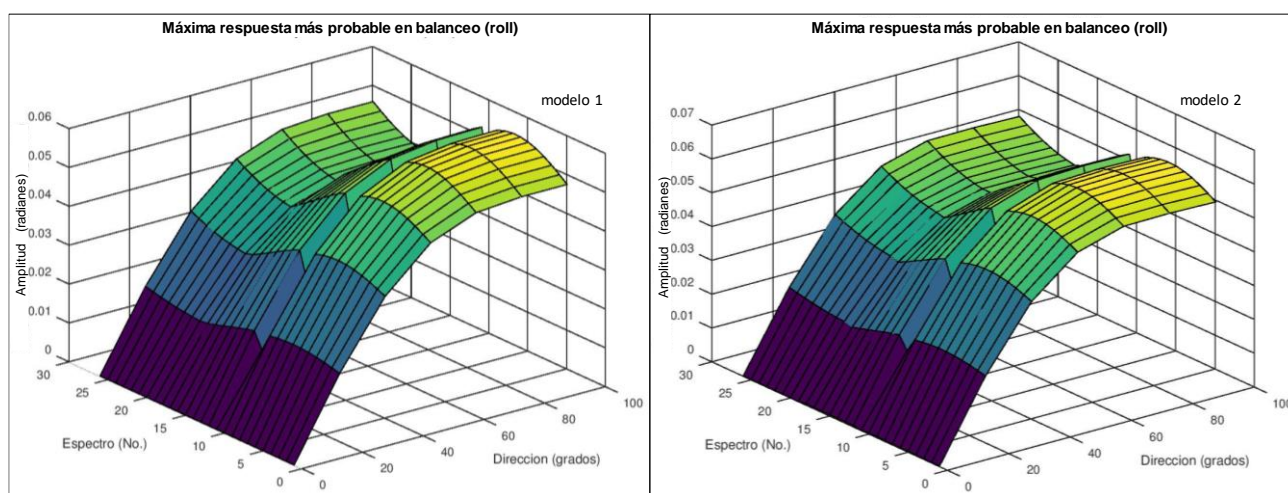


Figura 4.35 Superficie de respuesta máxima más probable esperada en balanceo (roll).

En la figura 4.35 se muestran los valores más probables de las respuestas máximas de movimiento rotacional (RAO en balanceo). Ambos modelos presentan el mismo comportamiento en la forma que para el valor más probable de la respuesta máxima

esperada en cabeceo y con valores de amplitudes muy similares. Como ya se menciona en párrafos anteriores, el cabeceo y el balanceo son respuestas desfasadas 90° , y por ser una estructura simétrica y regular los valores son muy similares.

Por otro lado, como parte de la búsqueda de como disminuir la respuesta máxima del SFP, inicialmente, los modelos sólo se analizaron como modelos tipo panel, que no consideran la contribución del amortiguamiento viscoso en la respuesta, y de los cuales se obtuvieron resultados. Posteriormente, a los mismos modelos se analizaron como modelos compuestos que son los que consideran la contribución del amortiguamiento viscoso en la respuesta.

Con el fin de observar la contribución del amortiguamiento viscoso en la respuesta, en las figuras 4.36 a 4.38 se comparan los RAO's del movimiento en arfada del modelo 2, que es donde mejor se puede observar la reducción en la amplitud de la respuesta.

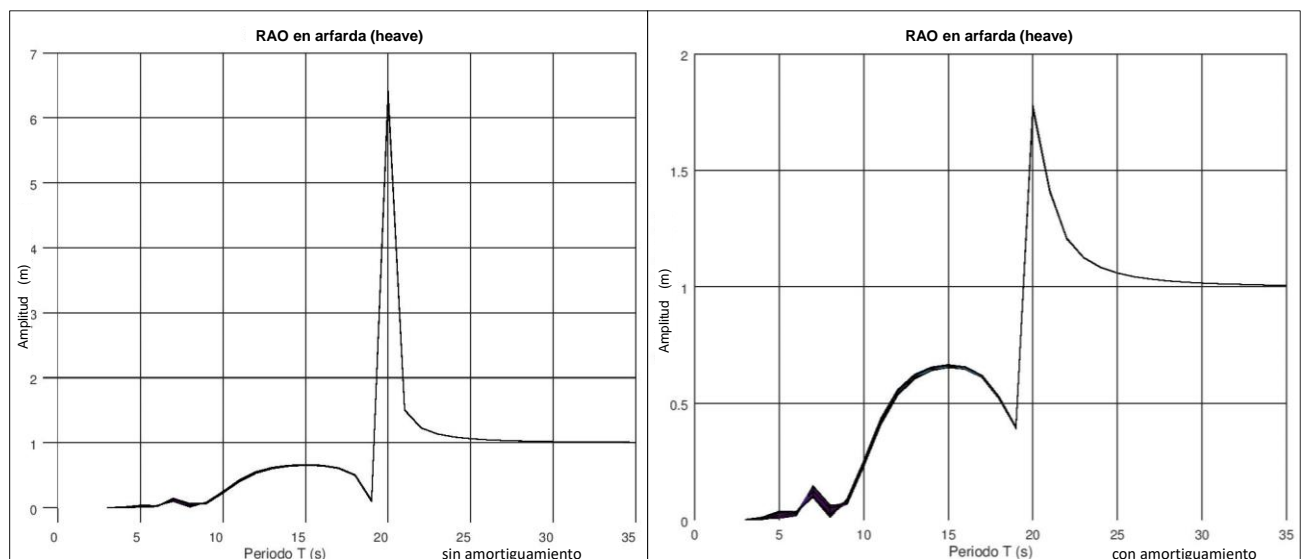


Figura 4.36 RAO en arfada (heave) sin y con amortiguamiento.

En la figura 4.36 se puede observar que, al considerar la contribución del amortiguamiento viscoso en la respuesta, esta disminuye la amplitud del movimiento vertical en arfada en más de 300%.

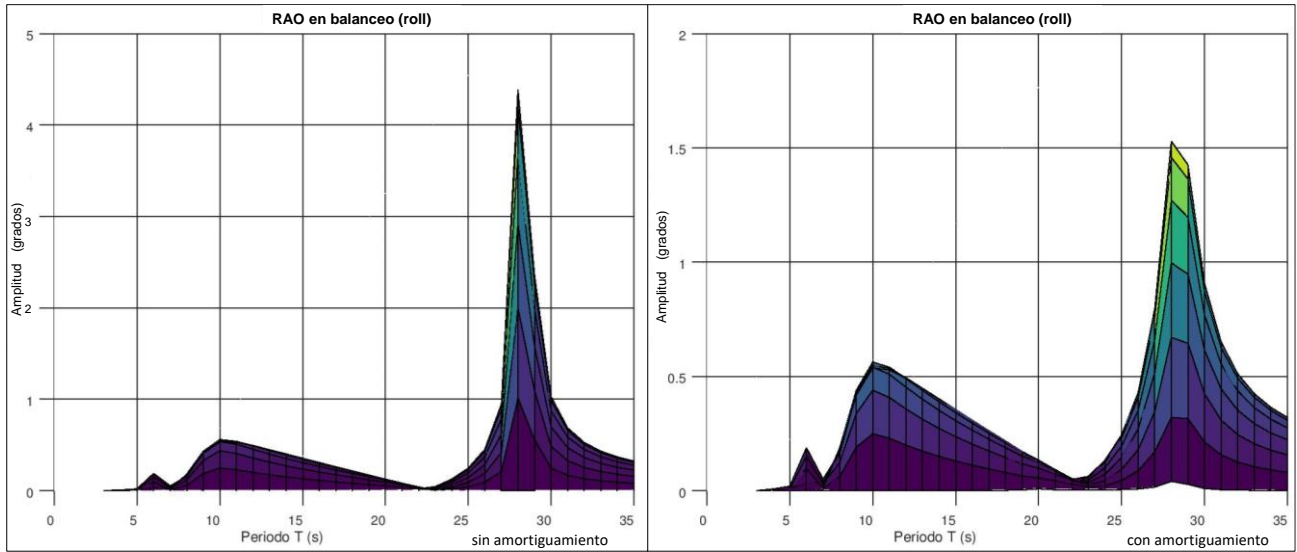


Figura 4.37 RAO en cabeceo (roll) sin y con amortiguamiento.

En la figura 4.37 se puede observar el movimiento en balanceo (giro alrededor del eje Y) que, al considerar la contribución del amortiguamiento viscoso en la respuesta, esta reduce la amplitud del giro en casi tres veces.

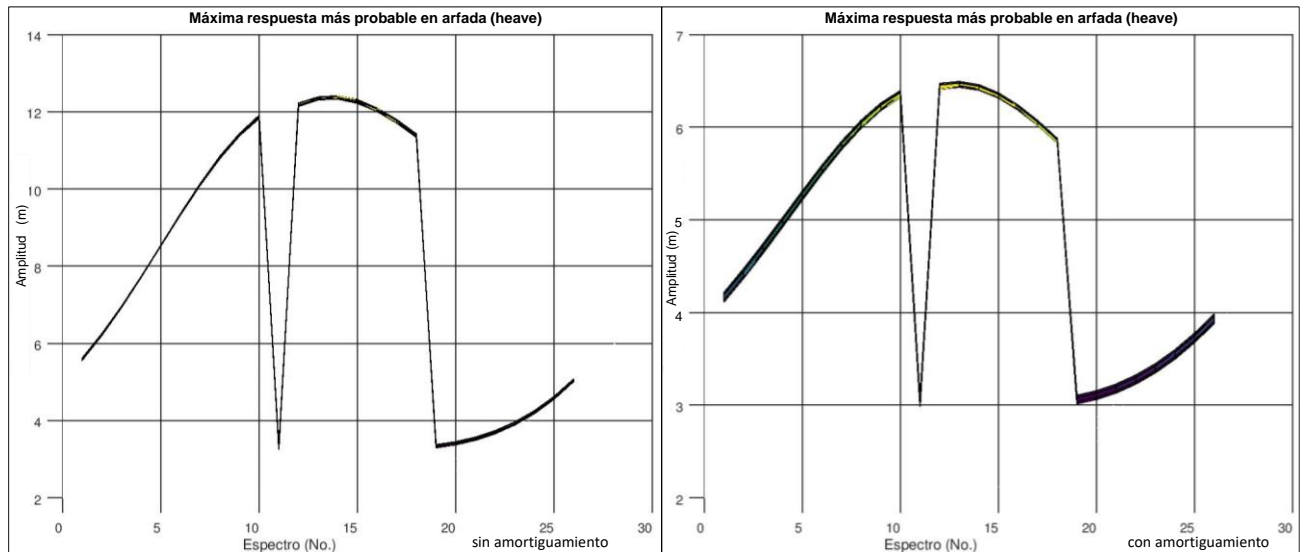


Figura 4.38 Valor más probable de la respuesta máxima en arfada (heave) sin y con amortiguamiento.

Finalmente, en la figura 4.38 se puede observar que el valor más probable de la respuesta máxima para el movimiento vertical (arfada), se reduce prácticamente a la mitad cuando se considera la contribución del amortiguamiento.

4.3 Resumen

En este capítulo se describió el procedimiento para la optimización de la respuesta de un SFP tipo semisumergible mediante la generación de modelos paramétricos.

Se presentaron dos modelos, que fueron dos configuraciones geométricas diferentes, pero con las mismas dimensiones y condiciones de análisis.

A partir de los resultados, se intentó determinar cuál de los dos modelos minimizaba la respuesta máxima más probable, para ello se recurrió a la construcción de superficies de respuesta.

Con los resultados de este capítulo, no es posible decidir cuál modelo tienen un mejor comportamiento, es decir, cuál minimiza las respuestas máximas, por ello, se requiere realizar un mayor número de combinaciones de las siguientes variables paramétricas:

- *Separación de columnas S_{col}*
- *Variación de ancho de columna B_c*
- *Variación de ancho del pontón B_p*
- *Variación de altura del pontón h_p*
- *Variación del calado D*
- *Variación de la altura del casco Hh*

Y las respuestas que se requieren revisar son:

- *Movimientos en arfada (heave), balanceo (roll) y cabeceo (pitch).*
- *Momentos flexionantes en el casco M_x y M_y .*
- *Aceleración horizontal sobre cubiertas Acc_x , Acc_y .*
- *Air Gap.*
- *Requisitos de estabilidad.*

En conclusión, el procedimiento propuesto cumplió con el objetivo planteado en este capítulo, demostrando su aplicación en los modelos analizados, sin embargo, para cumplir con el proceso de optimización, se deberán analizar más casos de estudio, con el fin de validar numéricamente el procedimiento.

Capítulo 5

5. Aplicación del procedimiento de optimización

Después del proceso de investigación y análisis de la literatura referente a SFP y al procedimiento propuesto para optimizar el diseño de un casco de plataformas tipo semisumergible, se desarrollaron herramientas computacionales, con el fin de parametrizar su construcción geométrica y coadyuvar a la agilización de los análisis de estabilidad, hidrodinámicos y procesamiento de resultados.

En este capítulo se realiza la validación de las herramientas computacionales desarrolladas, con el fin de demostrar su funcionalidad y eficiencia, mediante los resultados numéricos de los casos de estudio.

También es parte del alcance, analizar los resultados de las respuestas máximas de los casos de estudio, para determinar cuál configuración geométrica (datos paramétricos) es la que minimiza el nivel de la respuesta para cada variable.

5.1 Casos de estudio

Del análisis de las variables que rigen el comportamiento de un SFP tipo semisumergible, se optó por considerar las siguientes variables paramétricas que determinaron la configuración geométrica de los casos de estudio.

- **Scol** = Separación entre columnas del casco
- **Hh** = Altura del casco
- **Bc** = Ancho de la columna
- **Bp** = Ancho del pontón
- **Ap** = Altura del pontón
- **Hcal** = Altura de caladol
- **Ncub** = Número de cubiertas

Para los casos de estudio se consideró que la geometría del casco y las columnas es cuadrada, lo que simplificó algunas variables.

Existen otras variables que pueden regir la respuesta de un SFP tipo semisumergible, como puede ser, el radio de curvatura de las columnas y los pontones, el peso del equipo sobre la cubierta, pero incluir estas variables hubiera incrementado considerablemente los casos de estudio, por lo que se decidió fijar su valor.

Otras variables, como el ancho del pontón, se consideraron como una fracción del ancho de la columna, de la misma forma se simplificó la altura del pontón respecto a su ancho. El calado quedó en función de la altura del casco.

Estas consideraciones simplificaron el número de casos de análisis, quedando en 729 casos de estudio.

Tabla 5.1 Casos de estudio propuestos.

Casos de estudio						
N_{cub}	D_{col} (m)	H_{hull} (m)	B_{col} (m)	B_{pont} (m)	A_{pont} (m)	Cal_{ini} (m)
2	60	40	16	$0.8B_{col}$	$0.6B_{pont}$	$0.45H_{hull}$
	70	45	18	$0.9B_{col}$	$0.7B_{pont}$	$0.50H_{hull}$
	80	50	20	$1.0B_{col}$	$0.8B_{pont}$	$0.55H_{hull}$

Pero dado los tiempos de ejecución de los análisis, la capacidad de almacenamiento de los equipos y los tiempos de entrega del proyecto, se decidió considerar tres calados y tres combinaciones de B_p y A_p . Los parámetros para los casos de estudio se pueden ver en el Anexo A.

Definidos los casos de estudio, se procede a validar el procedimiento de optimización propuesta, mediante el empleo de las herramientas de cómputo desarrolladas.

Para el proceso de optimización se generó un código base llamado “metop.m”, en el cual se dan las siguientes instrucciones:

- Declarar datos de entrada: variables paramétricas, variables secundarias y constantes.
- Crear una carpeta para cada caso de estudio
- Generar archivos con las herramientas computacionales para ejecutar los programas de SESAM y realizar los análisis correspondientes.

Tabla 5.2 Códigos computacionales y su descripción.

Herramienta	Programa	Tipo de análisis	Resultados
model.m	Genie	Generación de modelos	T1.FEM (Modelo panel) T2.FEM (Modelo Morison) T3.FEM (Modelo estructural y masas)
fraction.m	-	Análisis hidrostático	Cálculo de pesos, masas, fracción de llenado de tanque de lastre y equilibrio hidrostático.
stability.m	HydroD	Análisis de estabilidad	Verificación de requisitos de estabilidad de acuerdo con el código IMO-MODU.
hydrodyn.m	HydroD	Análisis hidrodinámico	RAO's de movimientos para cada grado de libertad y fuerzas para cada dirección de análisis.
response.m	Postresp	Proceso de la respuesta	Densidad espectral de respuesta para cada variable declarada.
result.m	-	Extracción de máximos	Respuesta máxima más probable de cada variable solicitada.

Esto lo hace tantas veces como casos de estudio hayan sido declarados. Terminado todo el ciclo, se tienen los elementos para seleccionar el modelo que mejor minimiza las máximas respuestas más probables.

A continuación, se describen cada una de las fases en las que se emplean las herramientas computacionales desarrolladas.

Para la construcción geométrica del casco, se desarrolló un código abierto con programación estructurada en el software libre "Octave", llamado "modelo.m"

Para todos los casos, las variables que se consideraron constantes son las enlistadas a continuación.

```
Hcub=16;      # Altura de la armadura o vigas de la cubierta (m), dimensión en dirección Z.
Rc=3;        # Radio de curvatura de la columna (m).
Rp=3;        # Radio de curvatura del ponton (m).
Nnc=2;       # Número de niveles de cubierta desde la parte superior de las columnas del casco
NTp=5;       # Número de tanques que habrá en el ponton
NTc=4;       # Número de tanques que habrá en la columna
Dtb=1.0668;  # Diámetro de la sección tubular de la armadura de la cubierta (m)
ttb=0.0127;  # Espesor de la sección tubular de la armadura de la cubierta (m)
dy=7850;     # Densidad del acero en kg/m3
dsea=1025;   # Densidad del agua de mar en kg/m3
th=0.0254;   # Espesor de placa del casco (m)
td=0.0095;   # Espesor de placa de la cubierta (m)
Mh=2;        # Tamaño de la malla del modelo panel o casco (m)
Mm=1;        # Tamaño de la malla del modelo morison (m)
Me=3;        # Tamaño de la malla del modelo estructural (m)
FH=100;      # Factor hidrodinámica para la fuerza de arrastre
Ws=950;      # Densidad de carga en cubiertas secundarias de servicios (7355Pa = Aprox. 0.75 t/m^2)
Wp=1700;     # Densidad de carga en cubierta principal de producción (14710 Pa = Aprox. 1.5 t/m^2)
frbrmin=16;  # Francobordo mínimo en (m)
# Densidades de acero de referencia para escalamiento de la densidad del acero del casco
Ddr=14;      #lb/ft^3 dado
Dpr=13;      #lb/ft^3 pontón
Dcr=10;      #lb/ft^3 columna
```


5.1.1 Análisis de estabilidad

Después de generar el modelo de la semisumergible, se procede a realizar el análisis de estabilidad en condición intacta. La condición dañada queda fuera del alcance de este trabajo.

Con el código para calcular el equilibrio estático, "fraction.m", se busca encontrar la fracción de llenado en los tanques de lastre para satisfacer el siguiente balance.

$$W_{VDES} = W_{SEMI}$$

donde:

W_{VDES} = Peso del volumen de agua desplazado por el casco para un calado inicial.

W_{SEMI} = Peso del acero del casco y la cubierta, el peso del equipo y el peso del lastre de los tanques.

Para validar numéricamente el modelo, se realizó al azar la comparación de pesos entre el calculado con código "fracción.m" y el calculado por el módulo Genie. En cada comparación de los casos de estudio, los valores de los pesos fueron casi idénticos.

Una vez encontrado el equilibrio de pesos con la fracción de llenado del lastre en un cierto número de tanques, se utiliza el código llamado "stability.m", con el cual se genera el archivo requerido para el análisis de estabilidad que requiere el módulo HydroD del programa SESAM.

Algunos datos adicionales para el análisis son:

```
Tirante=2500;      # Tirante en (m).
FPerm=0.95;      # Factor de permeabilidad.
NFF=6;           # Número de fracciones de llenado.
NST=10;          # Número de secciones transversales para el cálculo de las fuerza y momentos.
Vwt=51.5;        # Velocidad de viento en tormenta m/s (IMO-MODU).
Vwo=36;          # Velocidad de viento en operación m/s (IMO-MODU.)
angadr=1;        # Incrementos del ángulo para el cálculo del momento adrizante.
angesc=5;        # Incrementos del ángulo para el cálculo del momento escorante.
```

La validación del código "stability.m" se logró comprobando los valores arrojados por el HydroD en el análisis hidrostático y de estabilidad con los valores calculados con el código "fraction.m". Los resultados son muy similares con respecto a los arrojados por el HydroD. Nuevamente los tiempos de ejecución se redujeron considerablemente.

Algunos resultados del análisis de estabilidad se muestran enseguida. En casi todos los casos, la curva de momento de escora es muy inferior a la curva de momento de adrizado, lo que indica que las dimensiones propuestas del SFP tipo semisumergible dan una reserva de flotación y estabilidad muy alta.

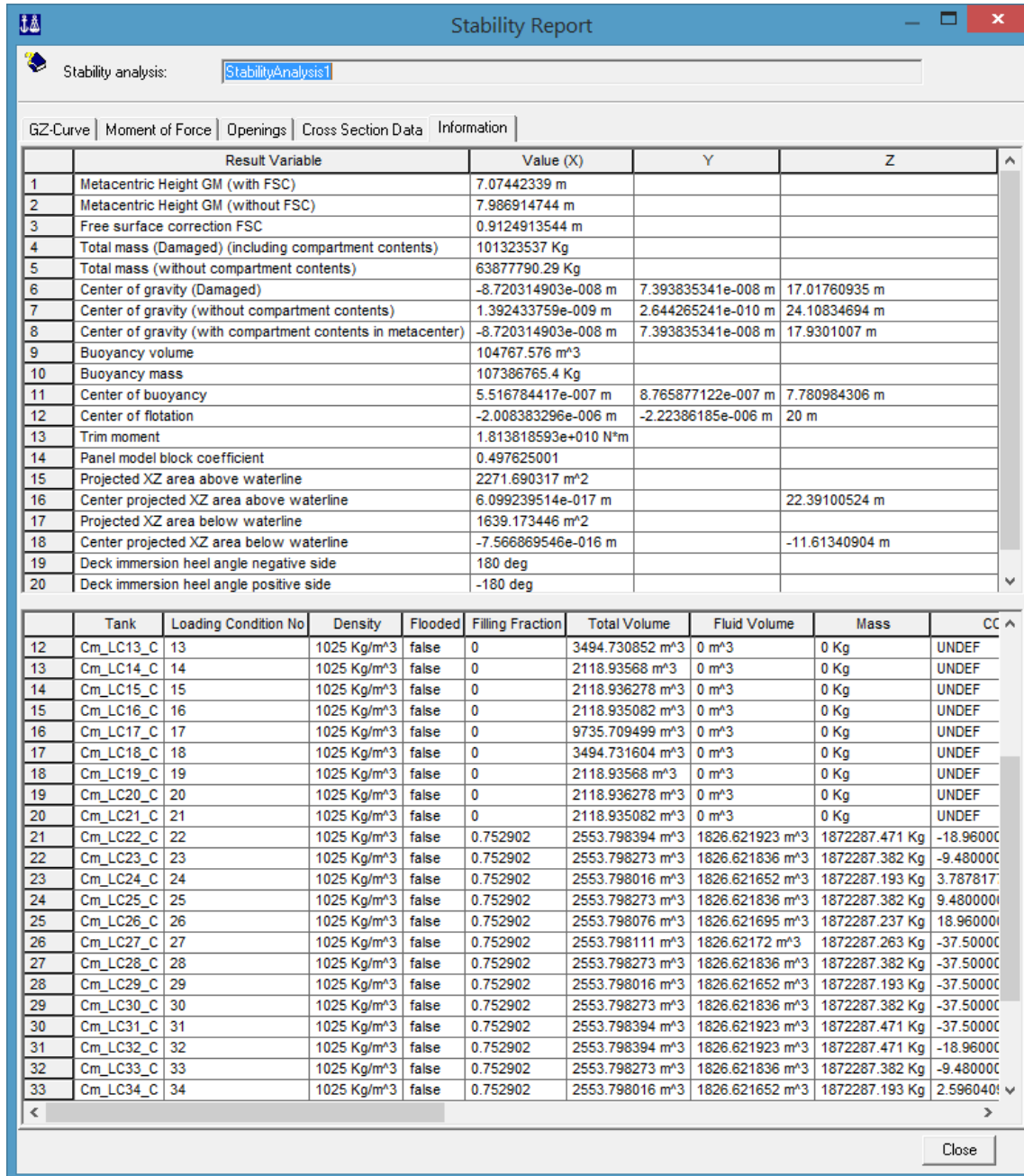


Figura 5.3 Reporte de estabilidad típico.

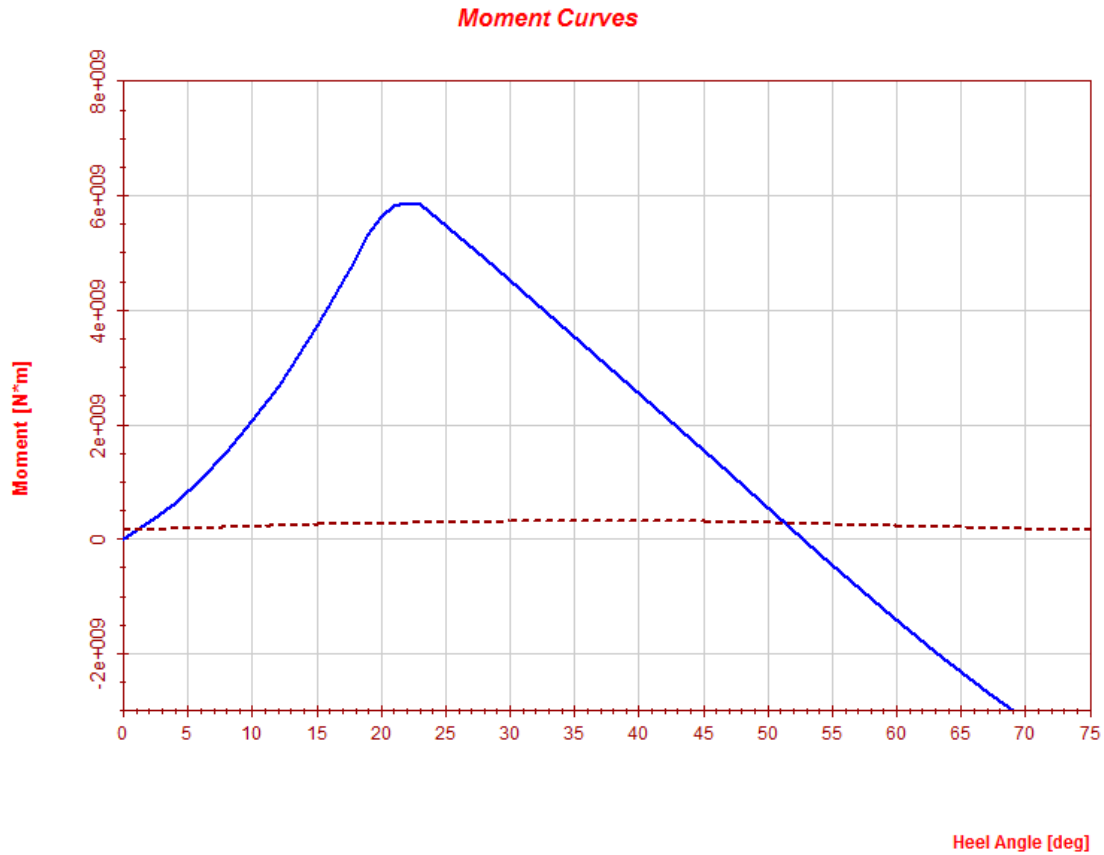


Figura 5.4 Curva típica de estabilidad.

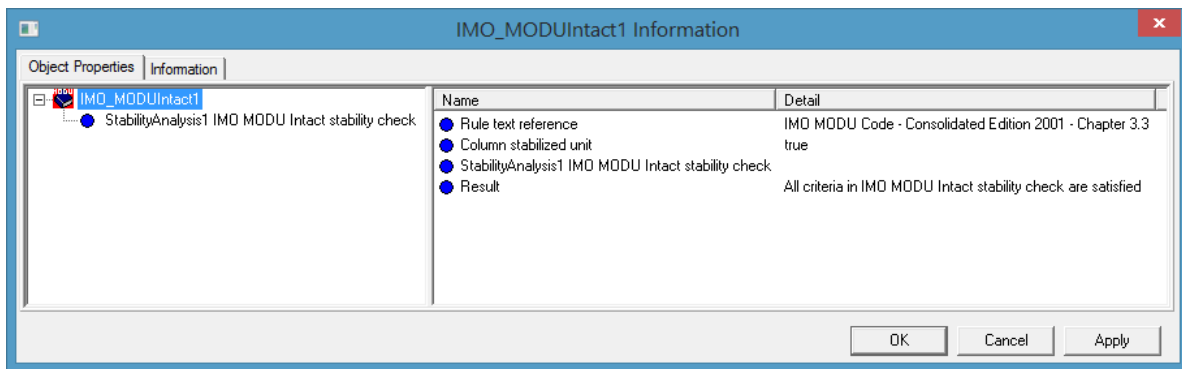


Figura 5.5 Revisión de la estabilidad en condición intacta. Caso de cumplimiento.

Las figuras 5.5 y 5.6, muestran el caso en que se cumplen todos los criterios de estabilidad.

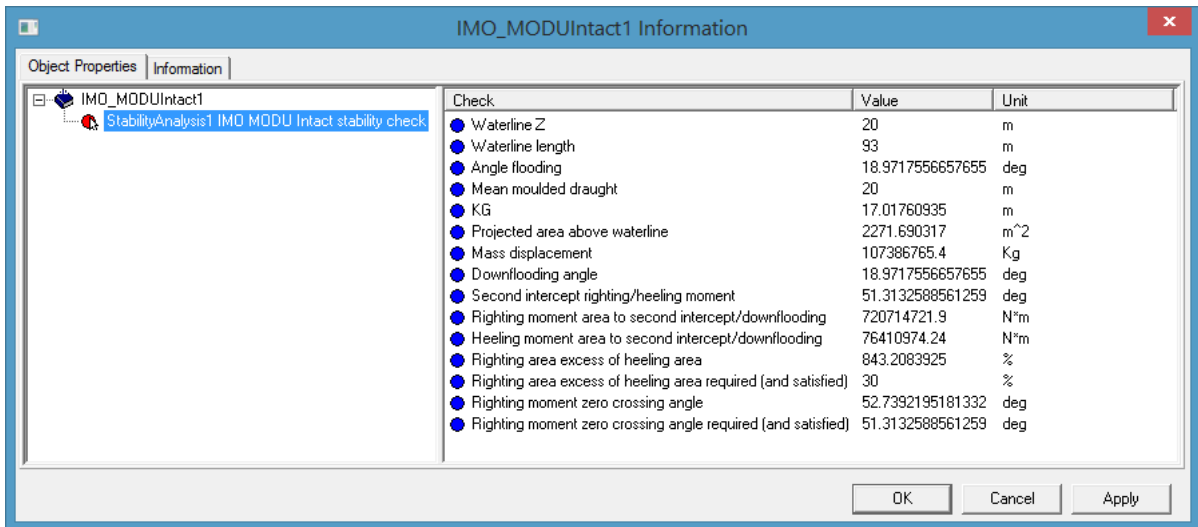


Figura 5.6 Revisión de criterios de estabilidad con IMO-MODU. Caso de cumplimiento.

La figura 5.7, muestra el caso en el que no se cumplen alguno de los criterios de estabilidad.

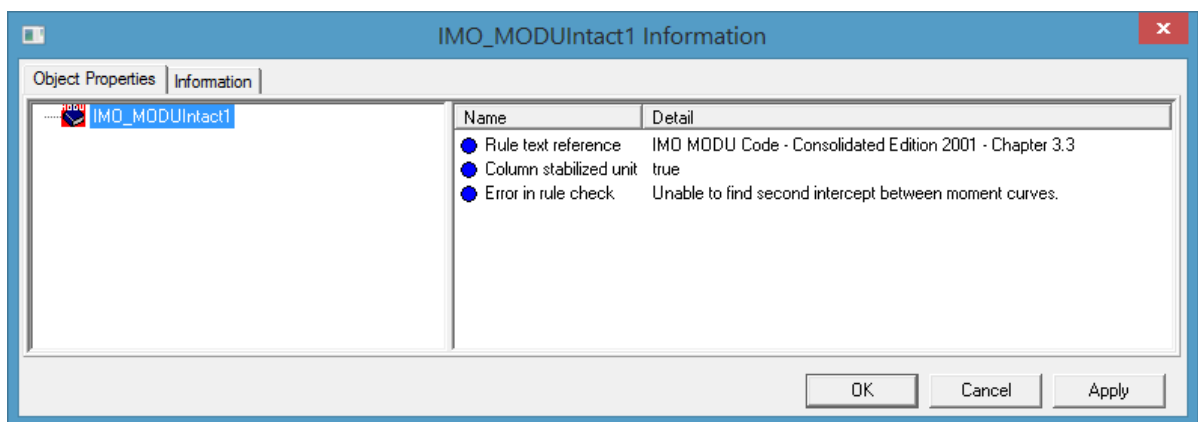


Figura 5.7 Revisión de las reglas de estabilidad con IMO-MODU. Caso de incumplimiento.

De los análisis de estabilidad, sólo seis casos no cumplieron con los criterios marcados en el código IMO-MODU. Por lo que se descartaron.

5.1.2 Análisis hidrodinámico

Para realizar el análisis hidrodinámico, previamente se generó un archivo con las instrucciones para el análisis, mediante el código desarrollado llamado "hydro.m". Se aprovechan datos de los códigos anteriores ("fraction.m y stability.m") y se declaran las siguientes variables que son constantes y servirán para todos los casos de estudio.

```
Hs=5.512; # Altura significativa para la densidad espectral de Breschneider (m)
Tp=9.882; # Periodo pico para la densidad espectral de Breschneider (s)
lgrx=90; # Longitud en X de la malla de la superficie de mar (m)
lgry=90; # Longitud en Y de la malla de la superficie de mar (m)
```

```
sgrx=20;      # Separación de líneas del mallado en la longitud en X (m)
sgry=20;      # Separación de líneas del mallado en la longitud en Y (m)
```

Dado que el casco del SFP es de forma cuadrangular, su simetría permitió reducir a cuatro el número de direcciones de análisis (0°, 15°, 30° y 45°). El intervalo de periodos del oleaje regular para el cálculo de las respuestas se consideró de 3 a 33 segundos en incrementos de 1 segundo.

En el caso del análisis hidrodinámico, los tiempos de ejecución se redujeron en un 10%, solo en la parte de la declaración de datos de entrada, ya que el tiempo de análisis fue el mismo.

Realizados los análisis hidrodinámicos, se procede a extraer los resultados de las variables de respuesta (RAOs) y sus respuestas máximas más probables, mediante el módulo POSTRESP del programa SESAM. Por lo que nuevamente se generó otro código con las instrucciones para el posproceso de los resultados hidrodinámicos, llamado "result.m".

Para realizar el análisis estadístico de la respuesta a corto plazo, se utilizó el contorno de peligro ambiental de una tormenta extrema (huracán) con un periodo de retorno T_r de 100 años. Con el fin de reducir los tiempos de análisis, de todos los datos del contorno de peligro, sólo se seleccionaron 26 estados de mar o pares de T_z y H_{ola} que fueran los más representativos, para generar las densidades espectrales de oleaje del tipo Pierson-Moskowitz.

Con las densidades espectrales de oleaje y las funciones de transferencia (RAOs), se calculó la densidad espectral de la respuesta para cada movimiento en los grados de libertad de arfada, deriva, avance, balanceo, cabeceo y guiñada y de fuerza (FX, FY, FZ, MX, MY y MZ). El número de respuestas más probables del análisis estadístico a corto plazo calculadas son:

$$N_{STR} = N_{gl} * N_{dir} * N_{esr}$$

Donde:

N_{STR} = Es el número de respuestas de corto plazo calculadas.

N_{gl} = Número de variables de respuesta (movimiento o fuerza)

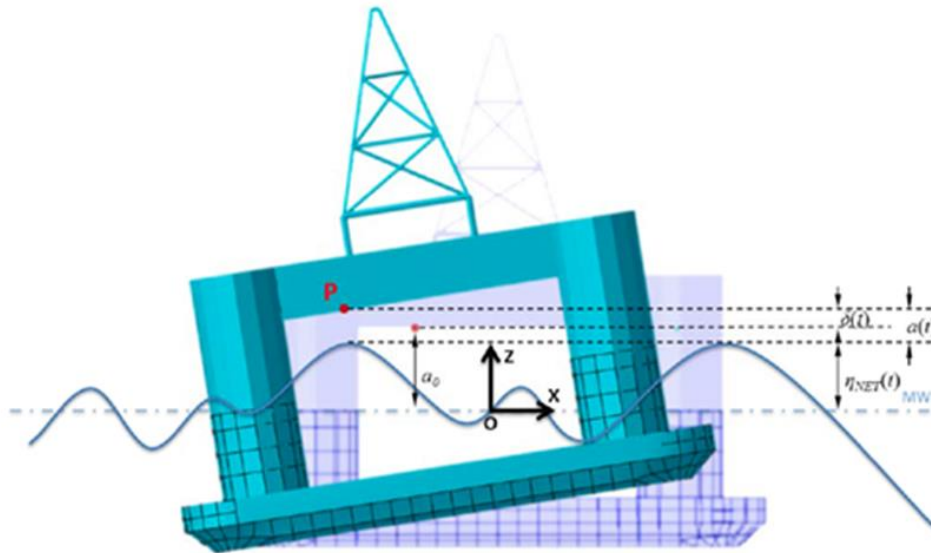
N_{dir} = Número de direcciones de análisis

N_{esr} = Número de densidades espectrales de respuesta

Para el caso de movimientos y fuerzas se calcularon un total de:

$$N_{STR} = 6 * 4 * 26 = 624 \text{ (para cada caso de estudio)}$$

Otra variable que es de interés para la optimización de la respuesta de un SFP tipo semisumergible, es el Air Gap, o la distancia que hay entre la altura de la ola y la parte inferior más baja de la cubierta del SFP.



$$a(t) = a_0 + \delta(t) - \eta_{NET}(t)$$

$$\delta(t) - \eta_{NET}(t) = \text{Change of Air Gap (result in Postresp)}$$

$$a_0 = \text{Air Gap in Static Water}$$

DNV GL © 2017 01 August 2016

Figura 5.8 Definición y notación del Air Gap. DNV-GL.

Para los casos de estudio, fueron considerados 5 puntos para el cálculo del Air Gap. Ver su localización en la figura 5.9.

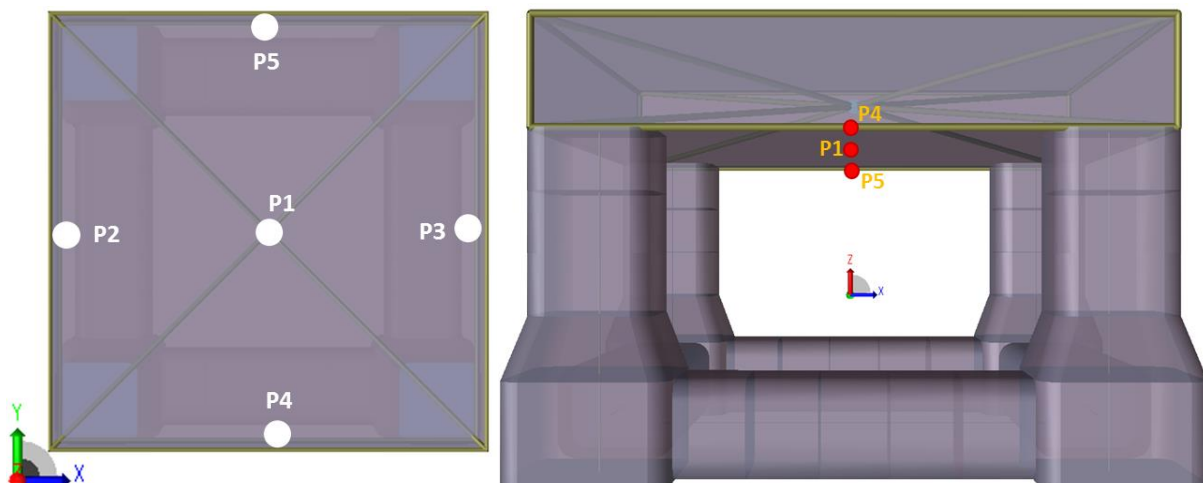


Figura 5.9 Localización de los puntos donde se calculó el Air Gap.

Las respuestas obtenidas fueron:

- Densidades espectrales de respuesta para:
 - ✓ Movimientos: avance/retraso, deriva, arfada, balanceo, cabeceo y guiñada.
 - ✓ Fuerza: F_x , F_y , F_z , M_x , M_y y M_z .
- Respuestas máximas más probables para:
 - ✓ Movimientos: arfada y balanceo, dado que por simetría el cabeceo sería igual que el balanceo.
 - ✓ Momentos globales, M_x , y M_y .
 - ✓ Aceleraciones en el plano horizontal de la cubierta, Acc_x y Acc_y .
 - ✓ Air Gap en 5 puntos.

Para obtener los valores más probables de los máximos movimientos (giros y desplazamientos), fuerzas (cortantes y momentos) o air gap (distancia de la ola a la parte inferior de la cubierta), del análisis estadístico a corto plazo, se consideraron los siguientes datos:

- Lapso de duración del estado de mar a corto plazo: 3 horas
- Probabilidad de excedencia de 0.01, con un periodo de retorno de 100 años.

Para el caso del procesamiento de los resultados hidrodinámicos, el ahorro en los tiempos de ejecución fue de casi el 95%.

5.2 Análisis de resultados

En esta sección se presentan los resultados de manera gráfica de las respuestas máximas más probables esperadas para cada variable de salida y para las cuales se hará un análisis de la influencia de las variables paramétricas en su comportamiento. Los valores graficados los podemos ver de forma tabular en el Anexo B de este documento.

Para entender los gráficos, es necesario aclarar lo siguiente. Cada variable de respuesta se presenta en 3 gráficos con el fin de apreciar mejor la influencia de la variación de cada variable paramétrica. En el primer gráfico están el total de casos de estudio (729). En el segundo gráfico, la tercera parte de los casos de estudio (243) y el tercer gráfico tiene la novena parte de los casos de estudio (81).

En todos los gráficos, los casos de estudio están representados sobre el eje de las abscisas, y el valor más probable de la respuesta máxima para cada variable de salida sobre el eje de las ordenadas.

5.2.1 Movimiento en arfada

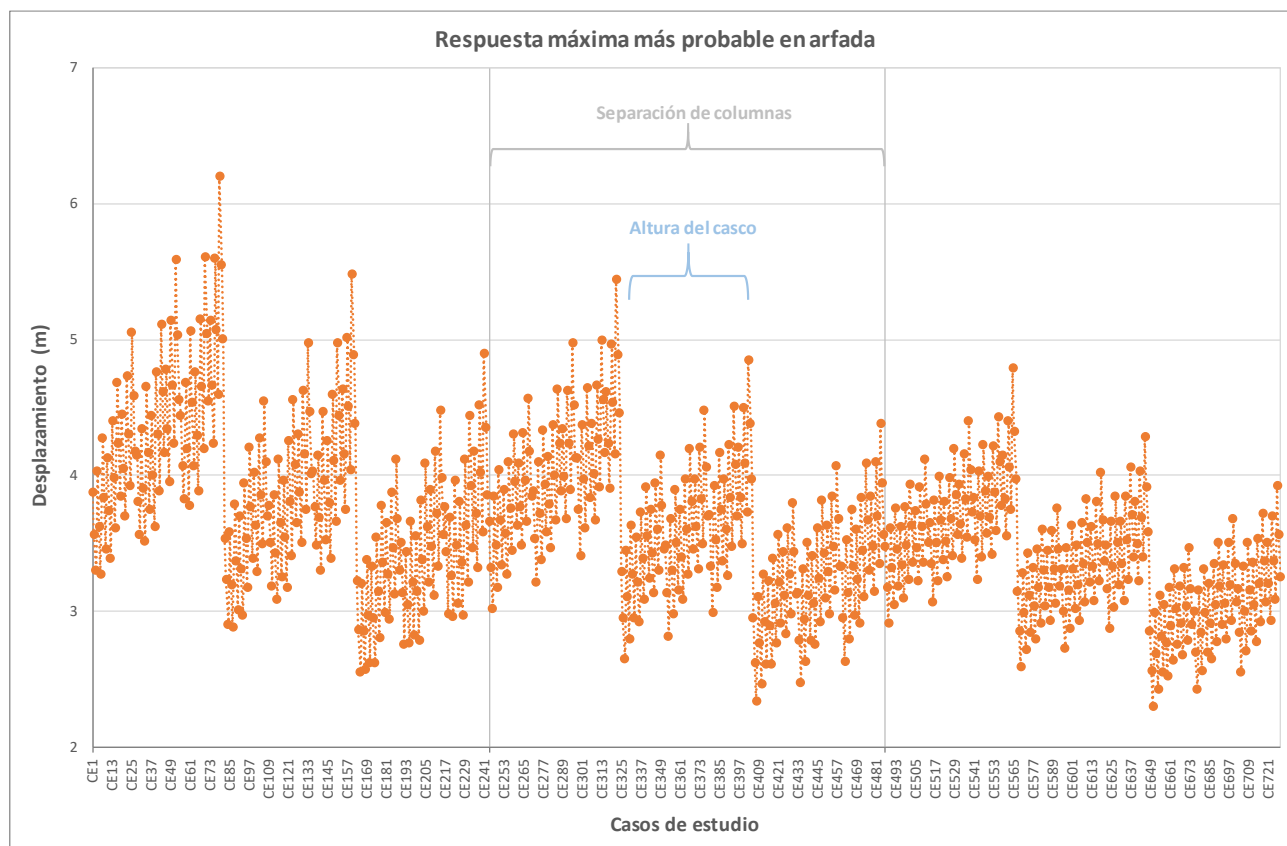


Figura 5.10 Valores máximos del movimiento en arfada (729 casos).

En el gráfico 5.10 se muestran los resultados del valor más probable del movimiento máximo en arfada de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), el desplazamiento máximo en arfada disminuye.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.10, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar de manera clara que al aumentar la altura H_{casco} el desplazamiento máximo en arfada disminuye.

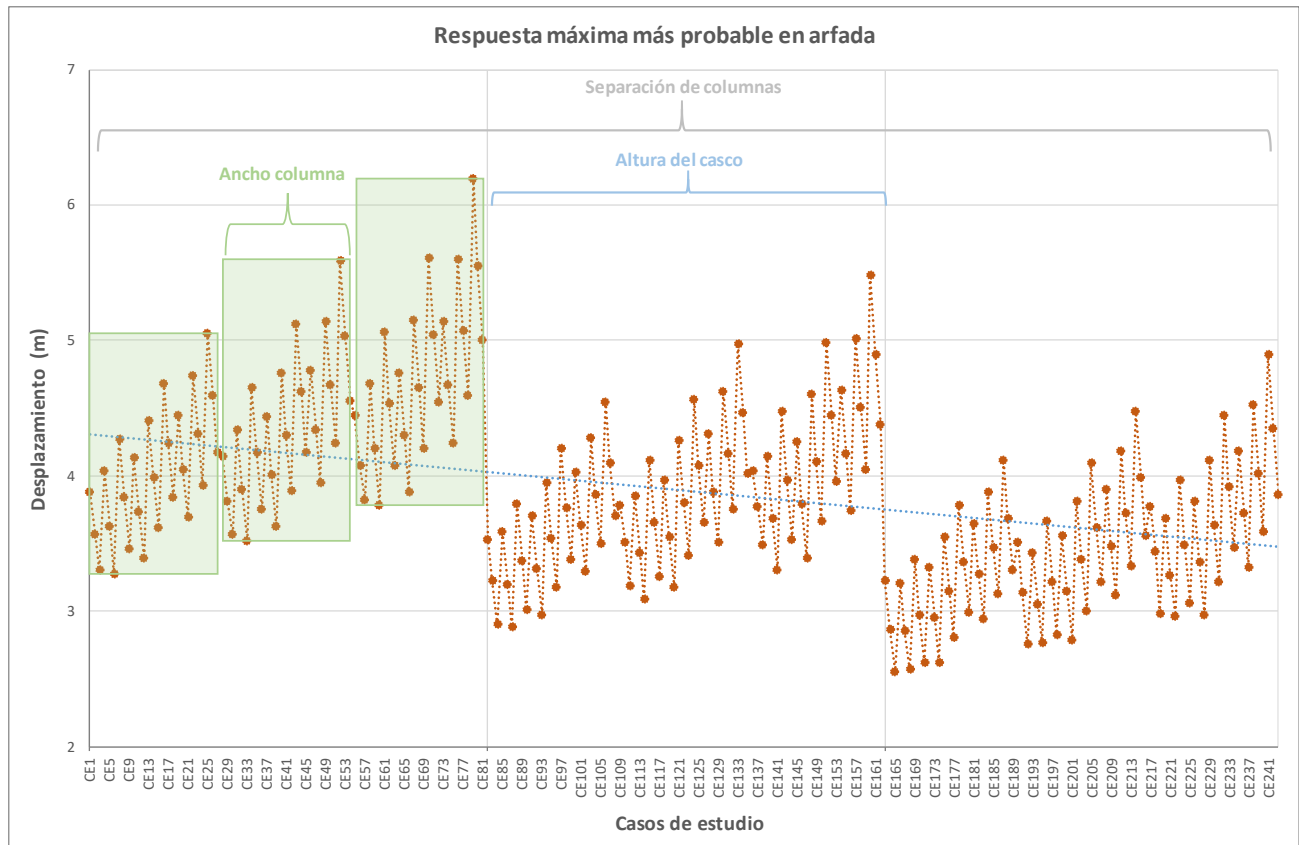


Figura 5.11 Valores máximos del movimiento en arfada (243 casos).

En el gráfico 5.11, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) el desplazamiento máximo en arfada aumenta.

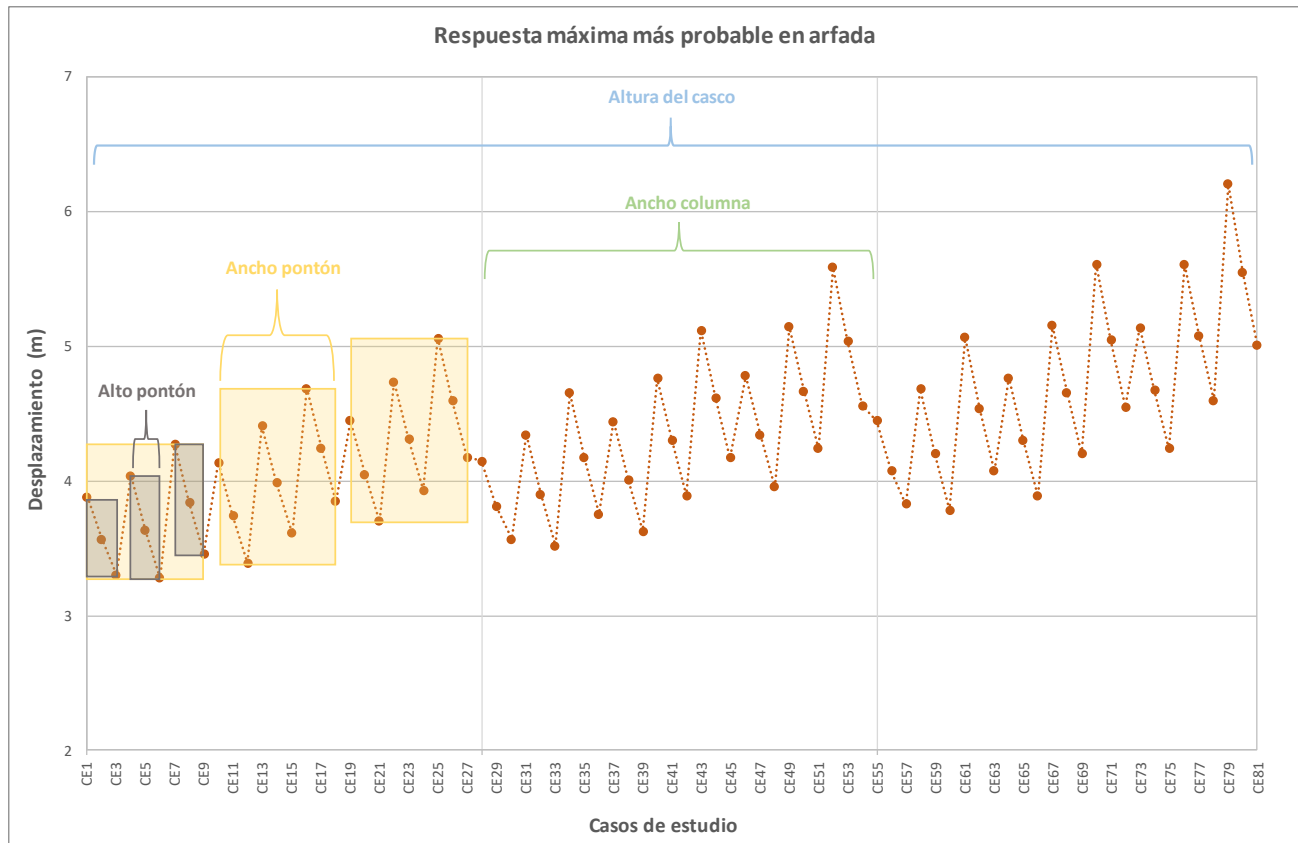


Figura 5.12 Valores máximos del movimiento en arfada (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.12. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$ (a cada 9 casos de estudio). Conforme aumenta el ancho del pontón, el desplazamiento máximo en arfada también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir el desplazamiento máximo en arfada.

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable del movimiento máximo en arfada, será necesario tener la máxima separación de la columna, la máxima altura del casco y del calado y la mínima dimensión de la columna, el ancho y alto del pontón.

5.2.2 Movimiento en balanceo

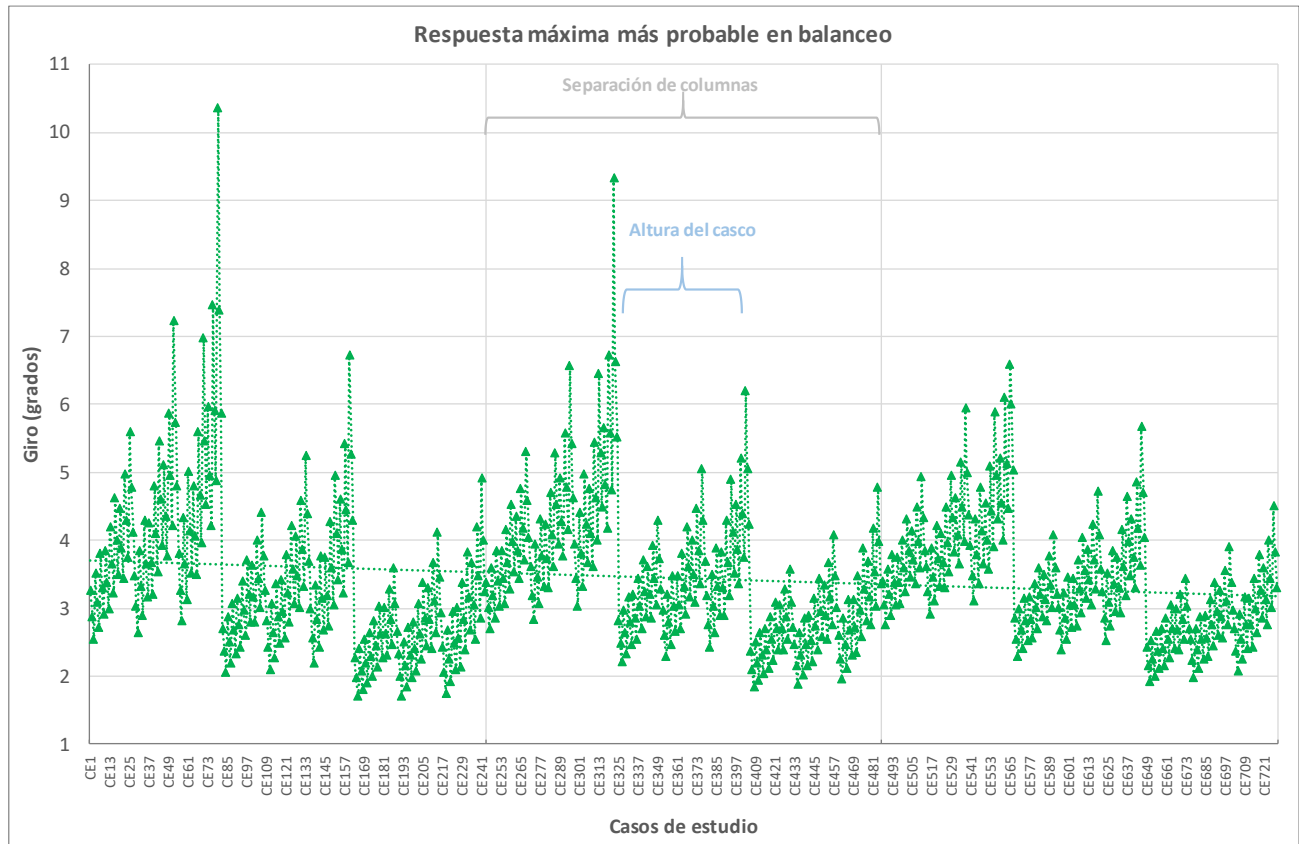


Figura 5.13 Valores máximos del movimiento en balanceo (729 casos).

En el gráfico 5.13 se muestran los resultados del valor más probable del giro máximo en balanceo de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), el giro máximo en balanceo disminuye, aunque muy poco, a simple vista parece que permanece constante.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.13, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar de manera clara que al aumentar la altura H_{casco} el giro máximo en balanceo disminuye.

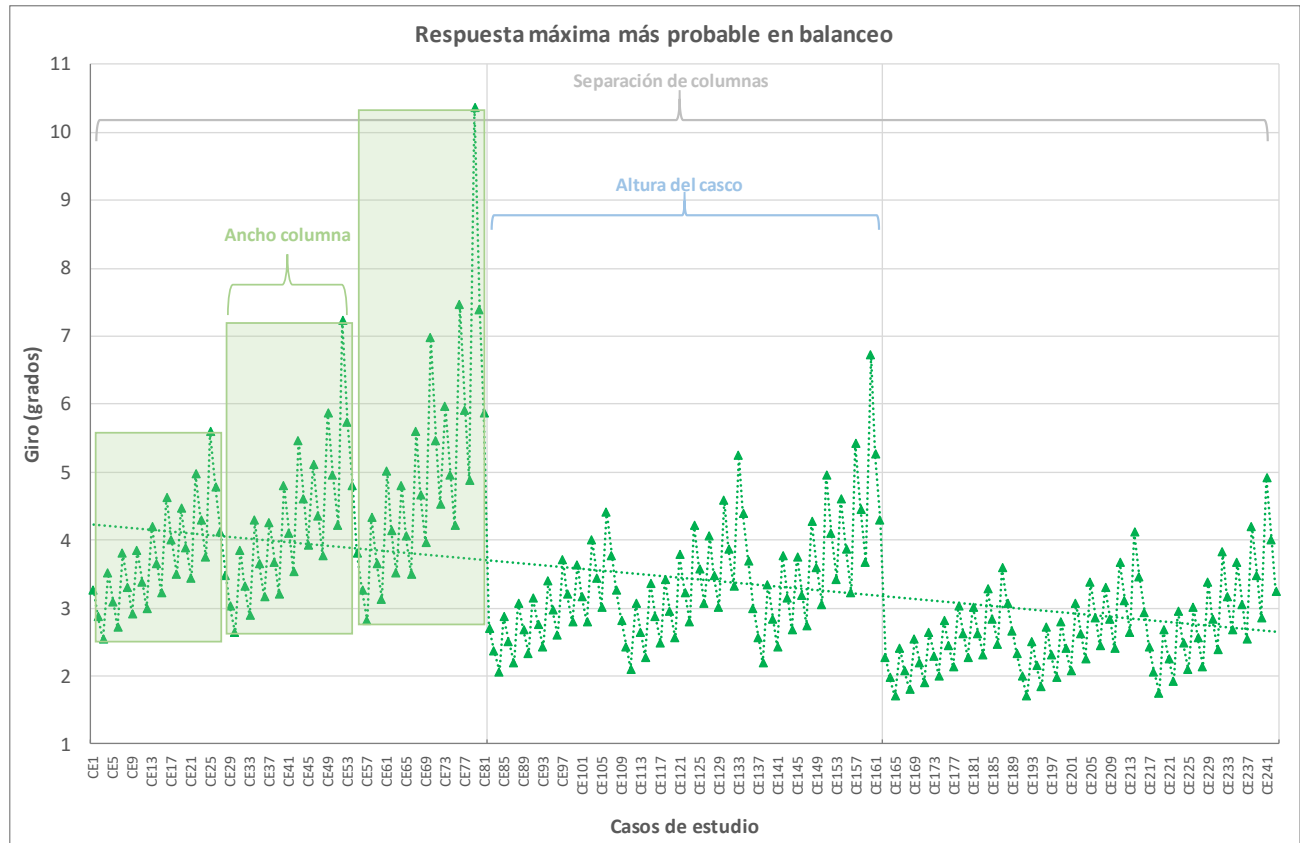


Figura 5.14 Valores máximos del movimiento en balanceo (243 casos).

En el gráfico 5.14, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) el giro máximo en balanceo aumenta.

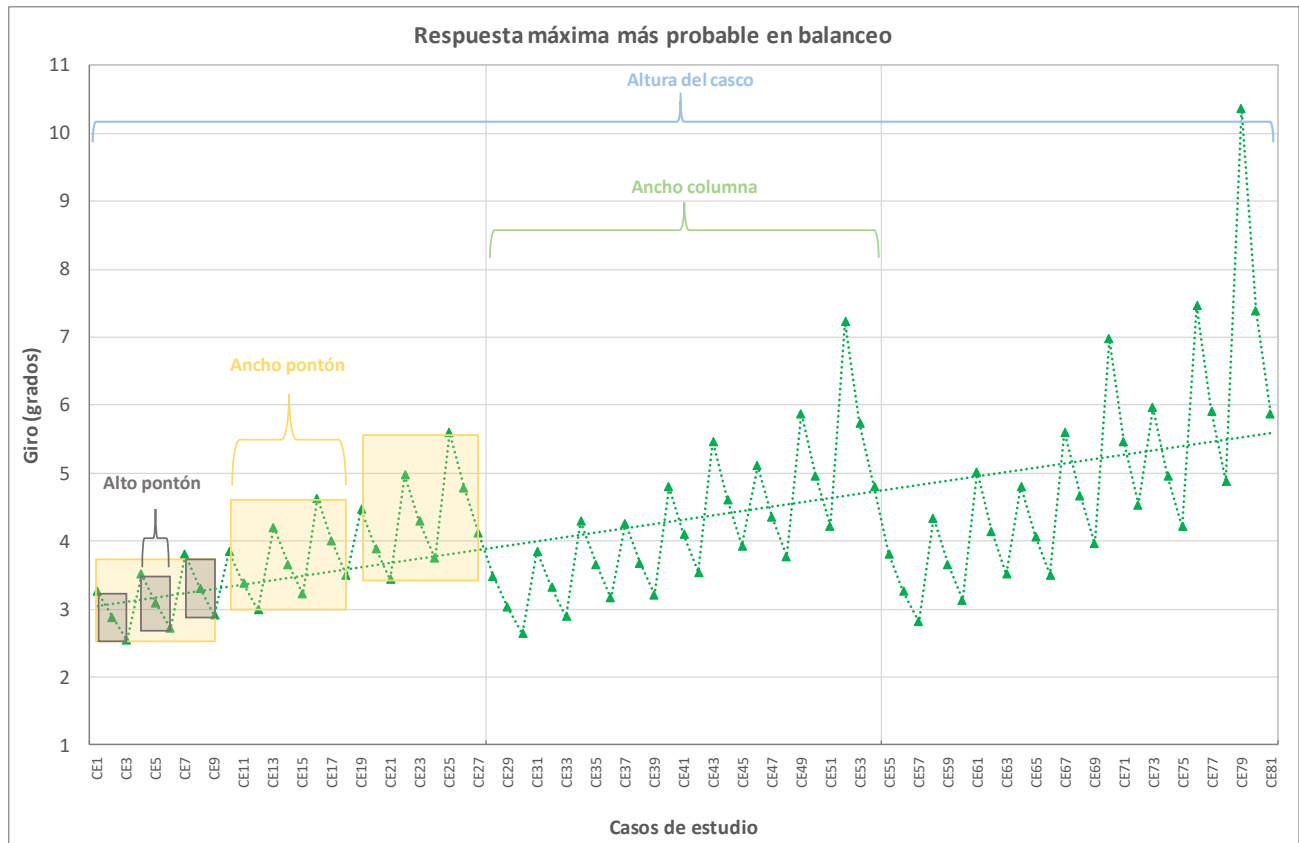


Figura 5.15 Valores máximos del movimiento en balanceo (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.15. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 casos de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$. Conforme aumenta el ancho del pontón, el giro máximo en balanceo también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir el giro máximo en balanceo.

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable del movimiento máximo en balanceo, será necesario tener, la máxima altura del casco y del calado y la mínima dimensión de la columna, el ancho y alto del pontón. La separación de la columna no es un parámetro que tenga una influencia importante en el movimiento de balanceo.

5.2.3 Movimiento en cabeceo



Figura 5.16 Valores máximos del movimiento en cabeceo (729 casos).

En el gráfico 5.16 se muestran los resultados del valor más probable del giro máximo en cabeceo de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), el giro máximo en cabeceo disminuye, aunque muy poco, a simple vista parece que permanece constante.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.16, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar de manera clara que al aumentar la altura H_{casco} el giro máximo en cabeceo disminuye.

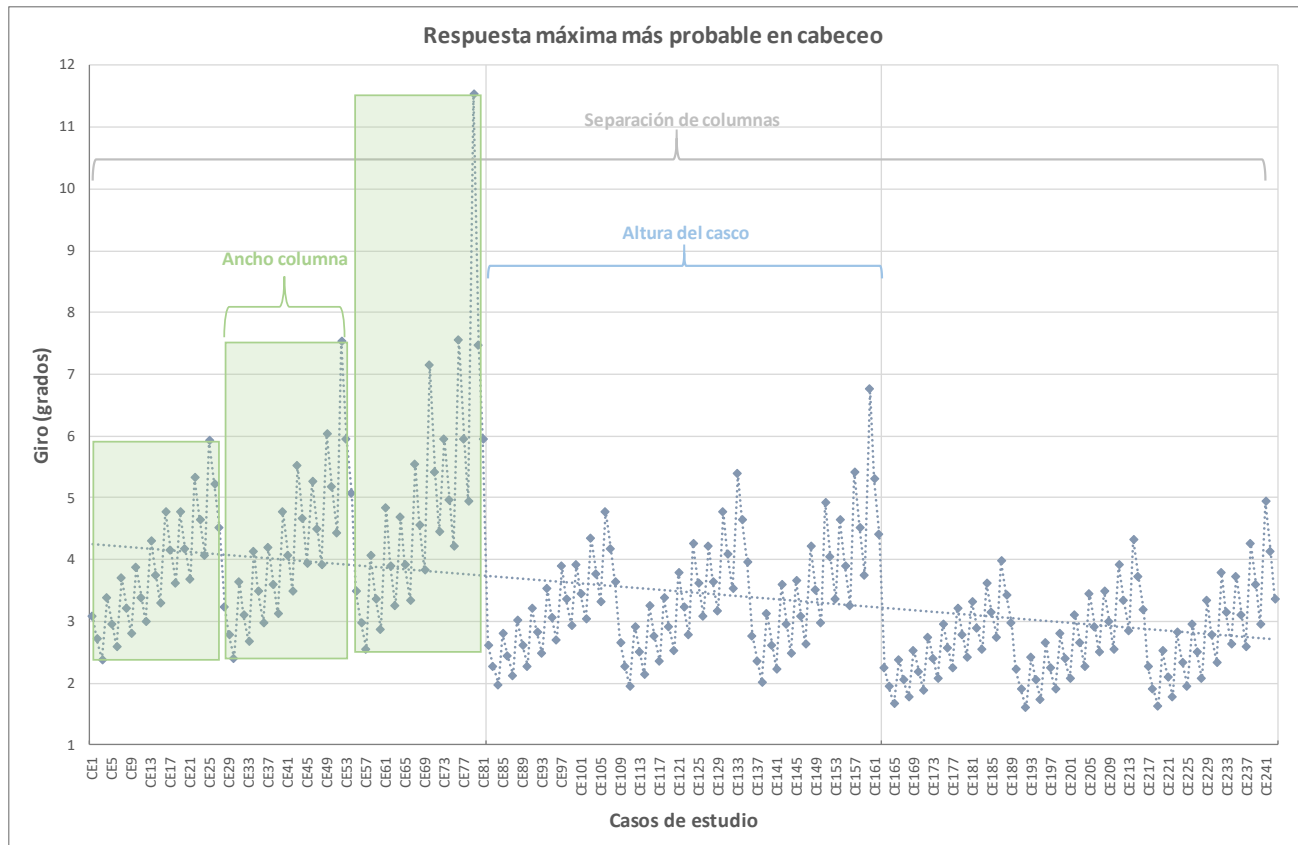


Figura 5.17 Valores máximos del movimiento en cabeceo (243 casos).

En el gráfico 5.17, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) el giro máximo en cabeceo aumenta, pero con incrementos muy bajos, apenas perceptibles.

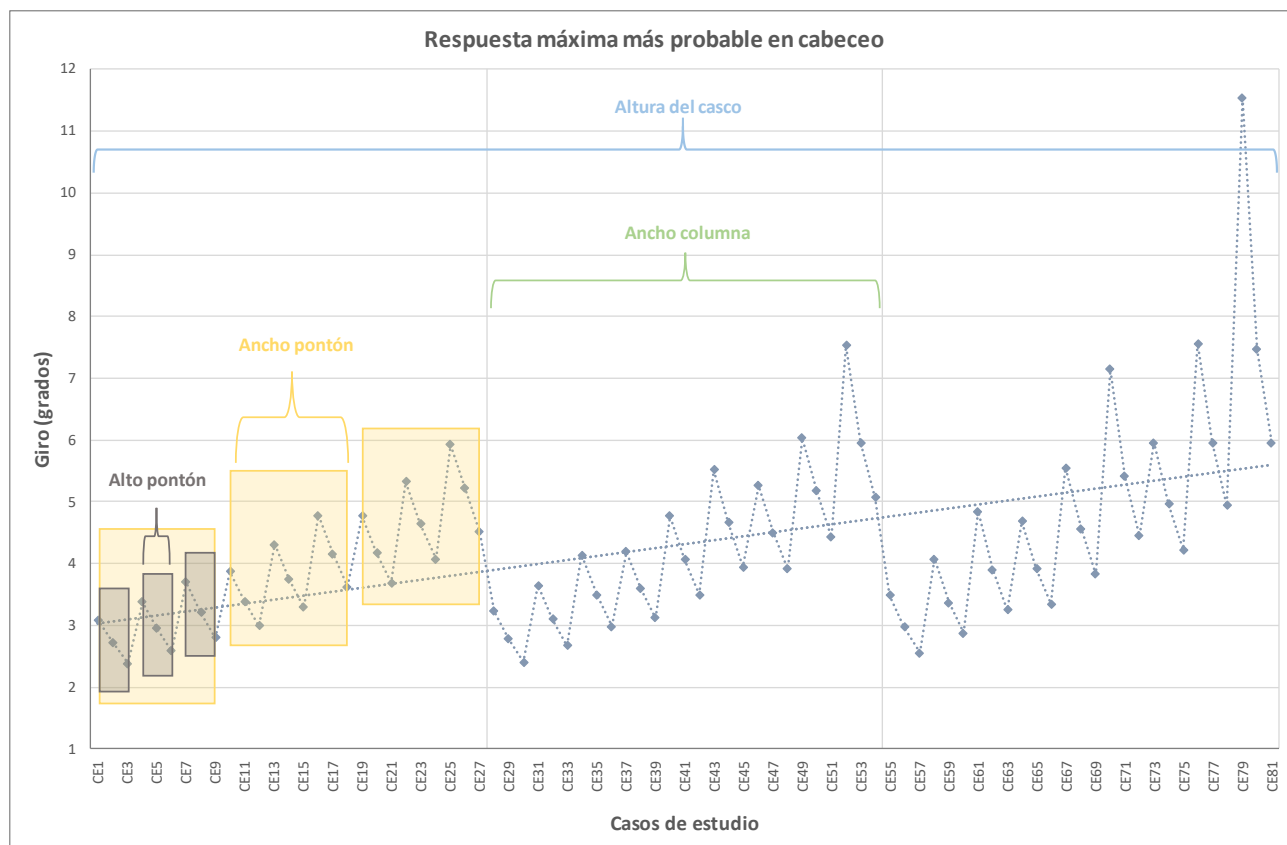


Figura 5.18 Valores máximos del movimiento en cabeceo (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.18. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$. Conforme aumenta el ancho del pontón, el giro máximo en cabeceo también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir el giro máximo en cabeceo.

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable del movimiento máximo en cabeceo, será necesario tener, la máxima altura del casco y del calado y la mínima dimensión de la columna, el ancho y alto del pontón. La separación de la columna no es un parámetro que tenga una influencia importante en el movimiento de cabeceo.

5.2.4 Momento flexionante $M_X(YZ)$

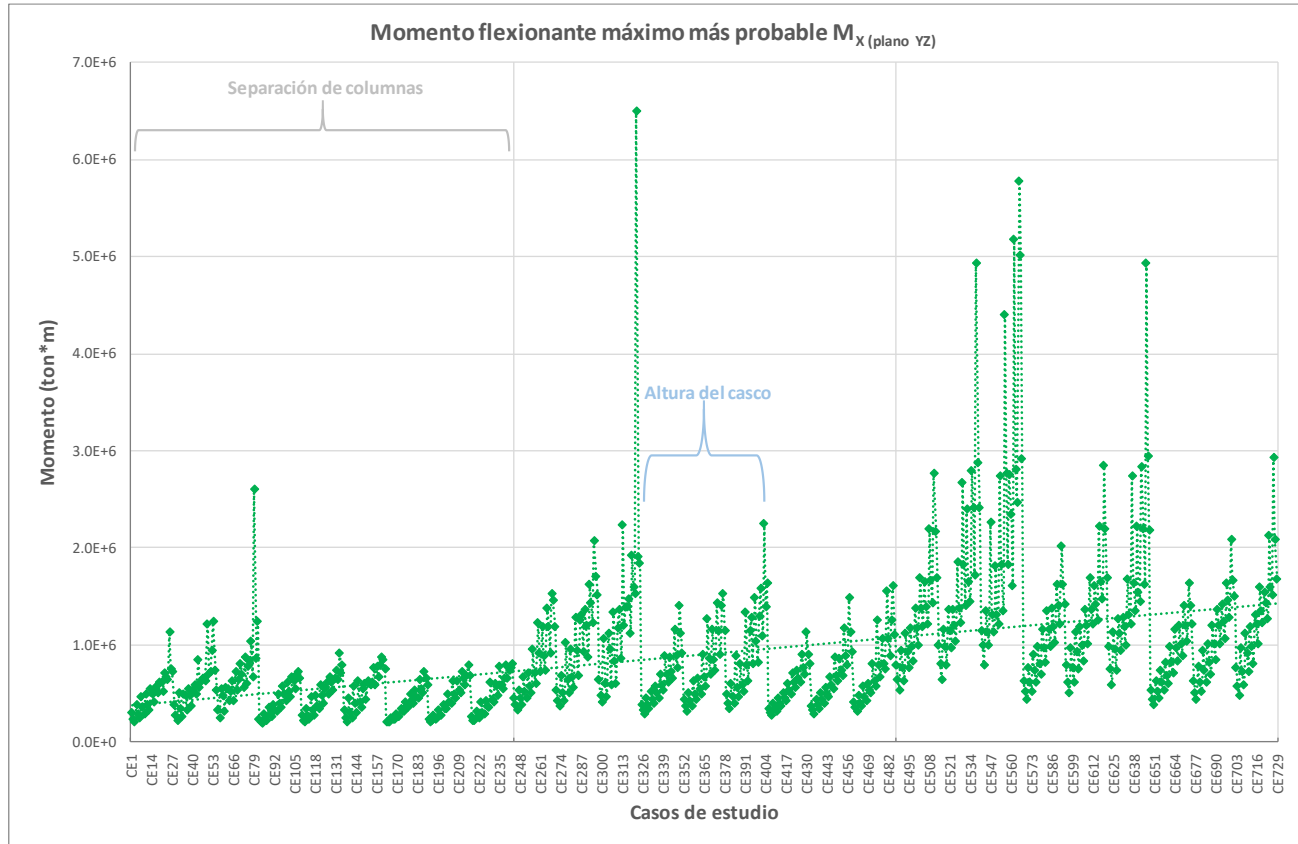


Figura 5.19 Valores máximos del momento flexionante $M_X (FYZ)$ (729 casos).

En el gráfico 5.19 se muestran los resultados del valor más probable del momento flexionante máximo $M_X (FYZ)$ de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), la amplitud del momento flexionante máximo $M_X (FYZ)$ aumenta, aunque muy poco, a simple vista parece que permanece constante.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.19, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar de manera clara que al aumentar la altura H_{casco} la amplitud del momento flexionante máximo $M_X (FYZ)$ disminuye con incrementos apenas perceptibles.

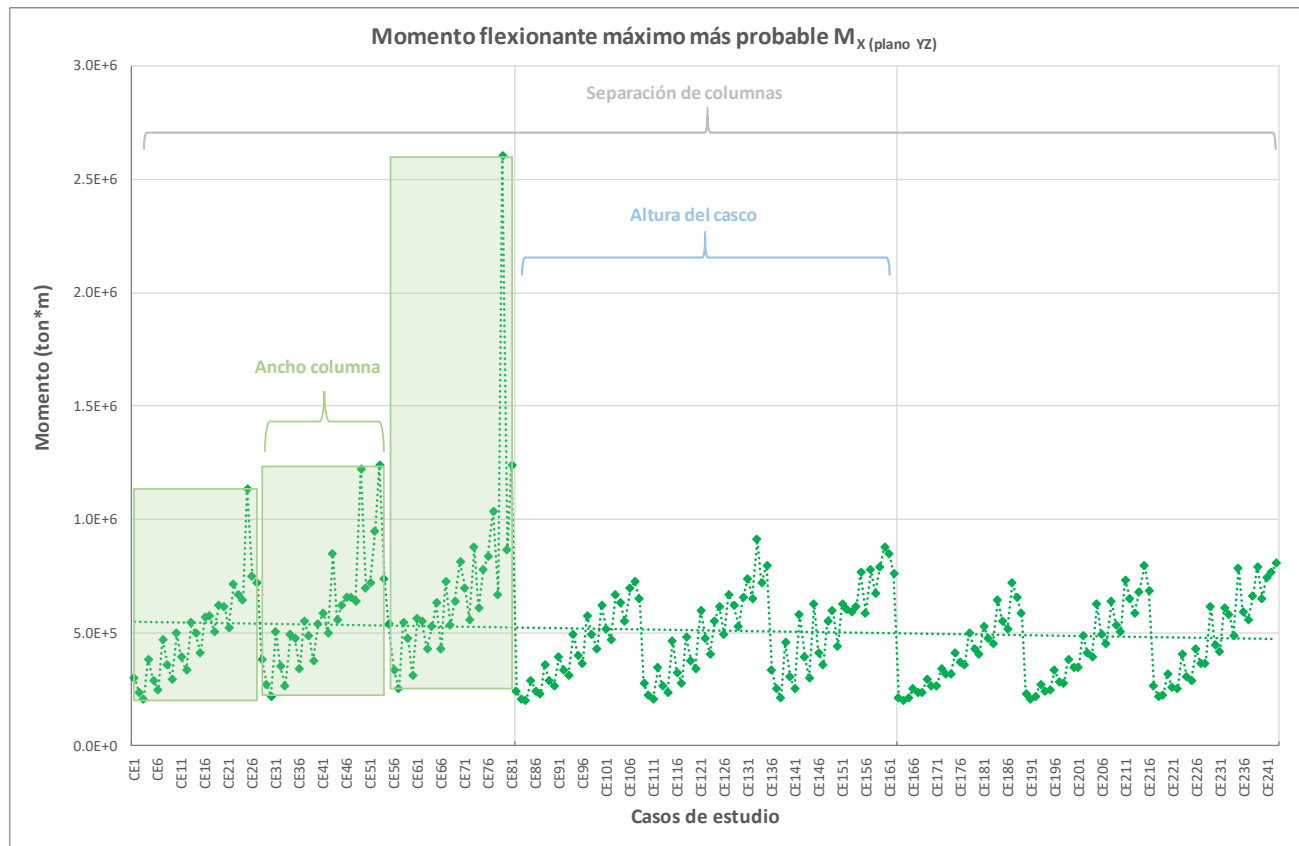


Figura 5.20 Valores máximos del momento flexionante M_X (F_{YZ}) (243 casos).

En el gráfico 5.20, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) el momento flexionante máximo M_X (F_{YZ}) aumenta, pero con incrementos muy bajos, apenas perceptibles.

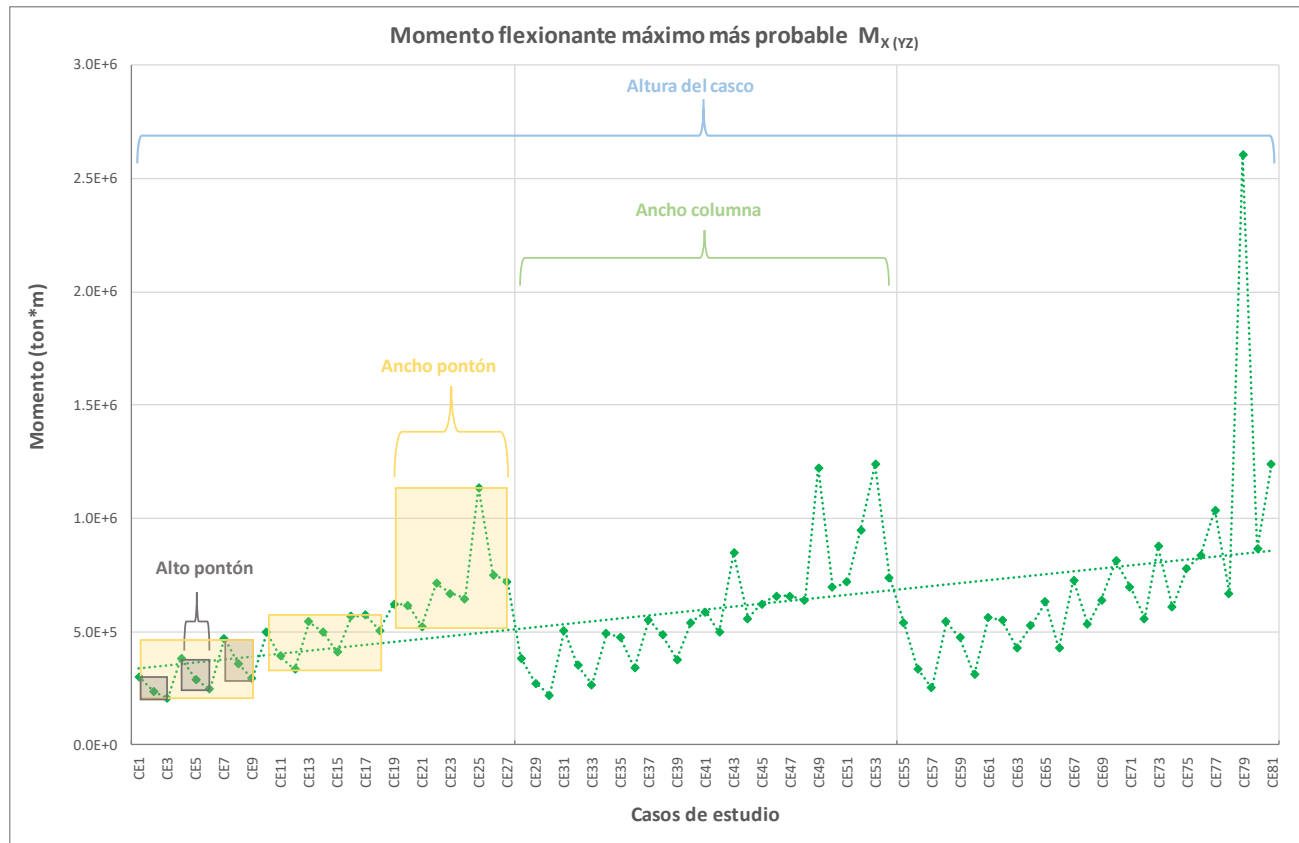


Figura 5.21 Valores máximos del momento flexionante $M_X (FYZ)$ (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.21. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$. Conforme aumenta el ancho del pontón, el momento flexionante máximo $M_X (FYZ)$ también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir el momento flexionante máximo $M_X (FYZ)$.

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable del momento flexionante máximo $M_X (FYZ)$, será necesario tener, la máxima altura del calado y la mínima separación entre columnas, la mínima dimensión de la columna, el ancho y alto del pontón.

Para este caso, la altura del casco es un parámetro que tiene poca influencia en la amplitud del momento flexionante máximo $M_X (FYZ)$.

5.2.5 Momento flexionante M_Y (F_{YZ})

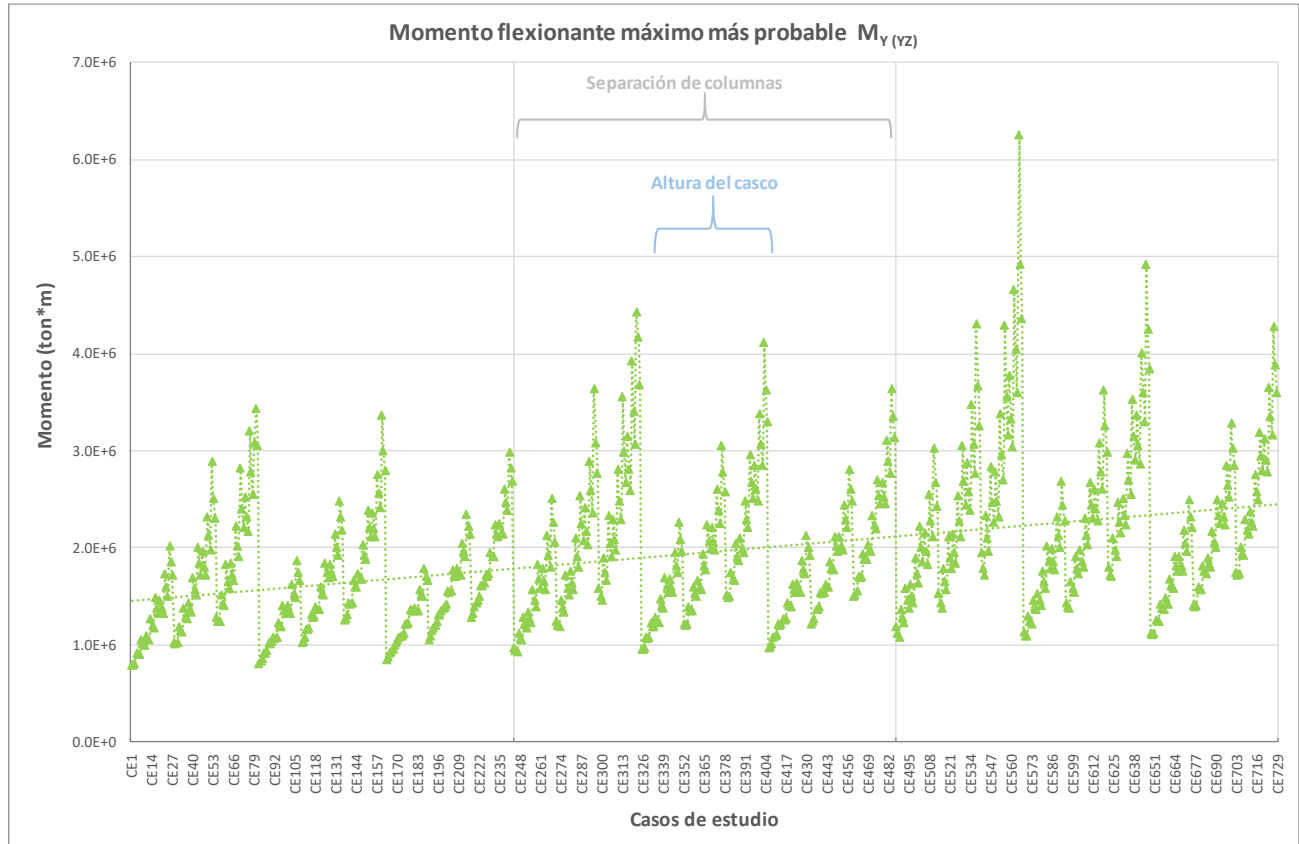


Figura 5.22 Valores máximos del momento flexionante M_Y (F_{YZ}) (729 casos).

En el gráfico 5.22 se muestran los resultados del valor más probable del momento flexionante máximo $M_{Y(FYZ)}$ de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), la amplitud del momento flexionante máximo $M_{Y(FYZ)}$ aumenta, aunque muy poco, a simple vista parece que permanece constante.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.22, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar de manera clara que al aumentar la altura H_{casco} la amplitud del momento flexionante máximo $M_{Y(FYZ)}$ disminuye con incrementos apenas perceptibles.

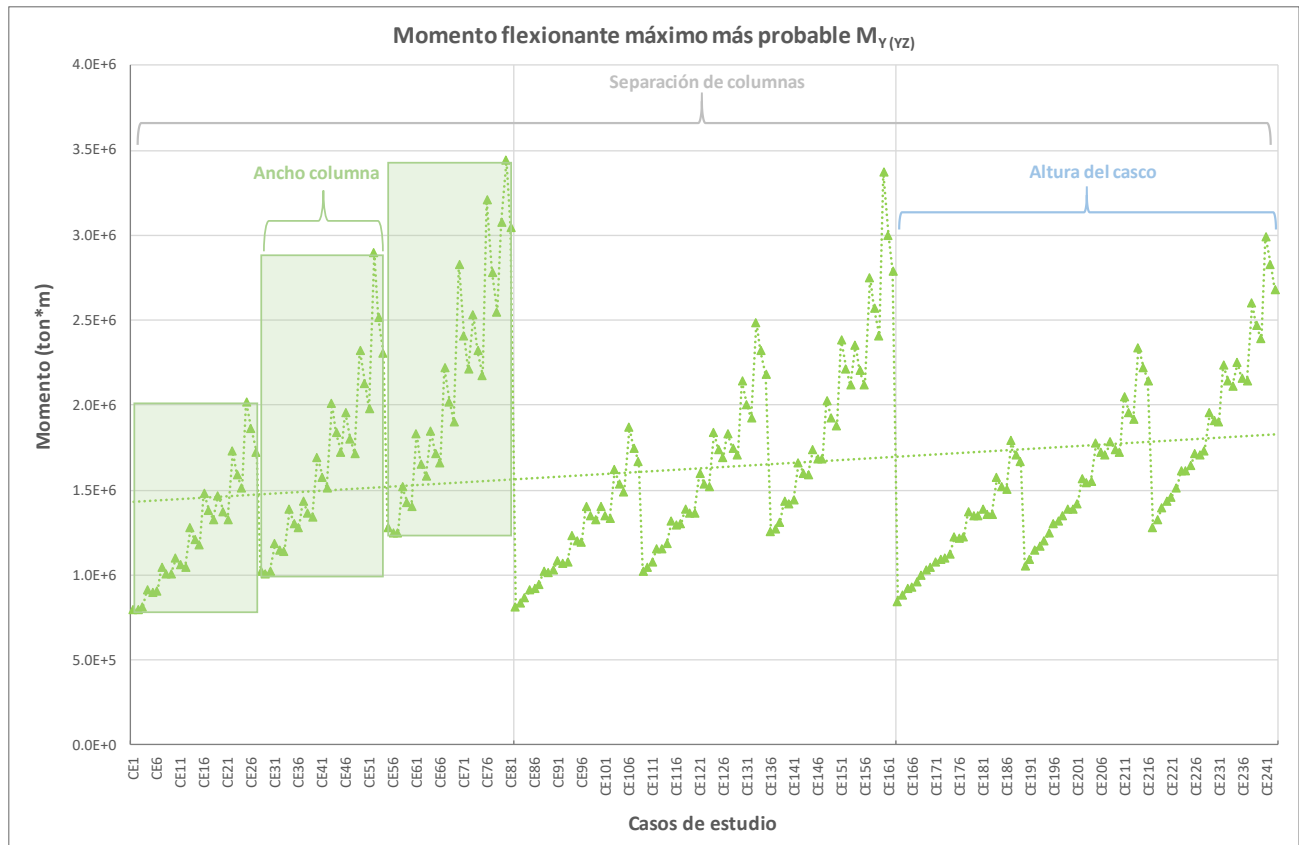


Figura 5.23 Valores máximos del momento flexionante $M_{Y(FYZ)}$ (243 casos).

En el gráfico 5.23, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) el momento flexionante máximo $M_{Y(FYZ)}$ aumenta.

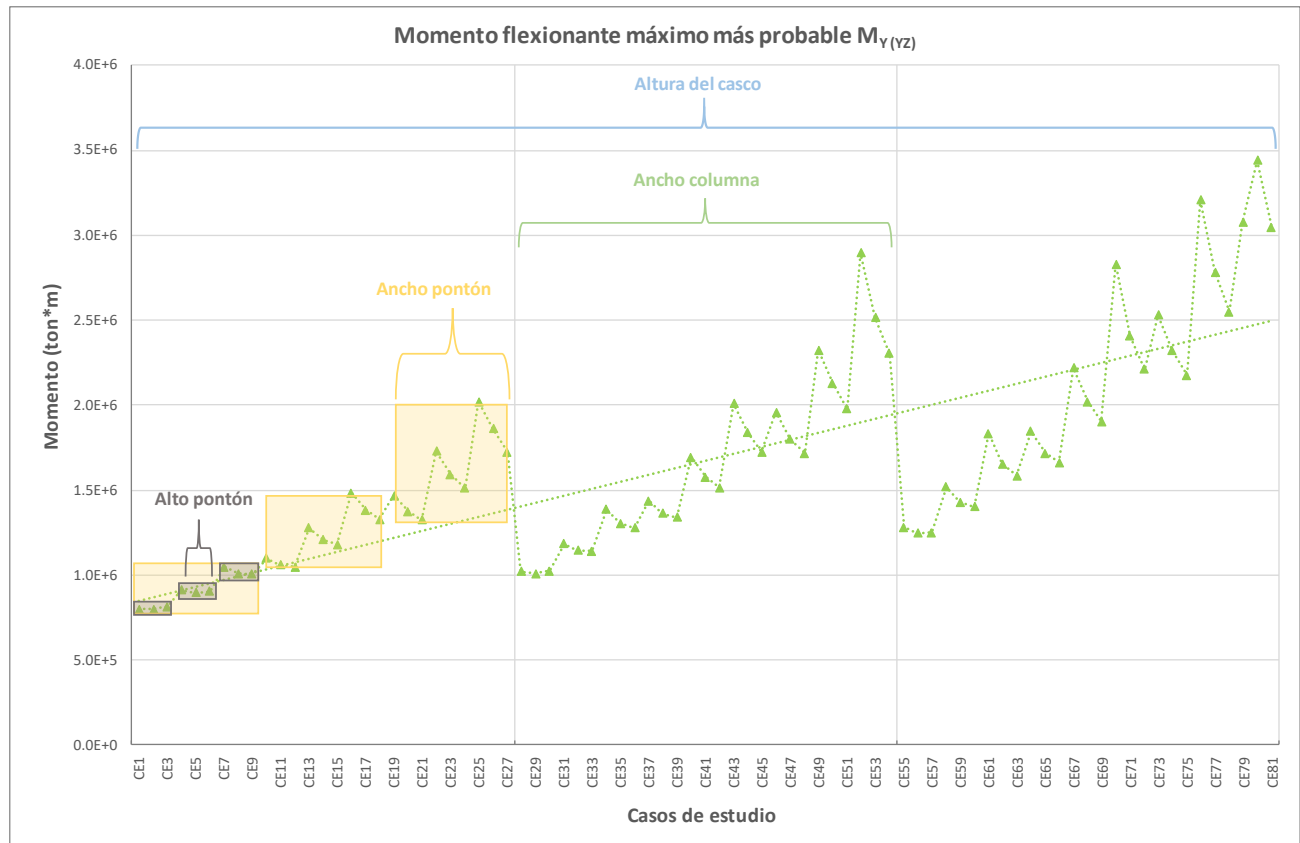


Figura 5.24 Valores máximos del momento flexionante $M_Y (FYZ)$ (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.24. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$. Conforme aumenta el ancho del pontón, el momento flexionante máximo $M_Y (FYZ)$ también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir el momento flexionante máximo $M_Y (FYZ)$.

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable del momento flexionante máximo $M_X (FYZ)$, será necesario tener los mínimos valores de las seis variables paramétricas.

Para este caso, la altura del casco también es un parámetro que tiene poca influencia en la amplitud del momento flexionante máximo $M_Y (FYZ)$.

5.2.6 Momento flexionante M_X (FXZ)

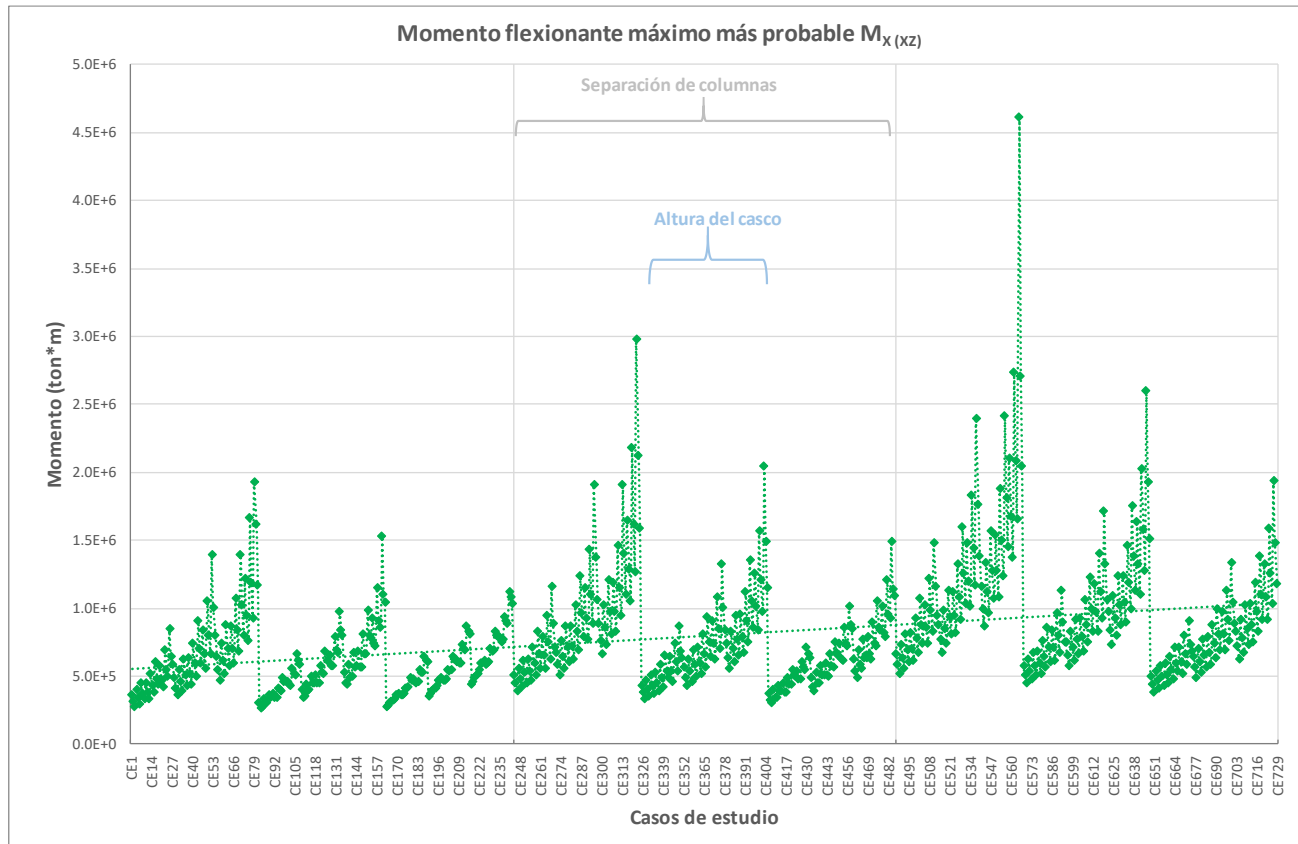


Figura 5.25 Valores máximos del momento flexionante M_X (FXZ) (729 casos).

En el gráfico 5.25 se muestran los resultados del valor más probable del momento flexionante máximo M_X (FXZ) de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), la amplitud del momento flexionante máximo M_X (FXZ) aumenta.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.25, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar que al aumentar la altura H_{casco} la amplitud del momento flexionante máximo M_X (FXZ) disminuye.

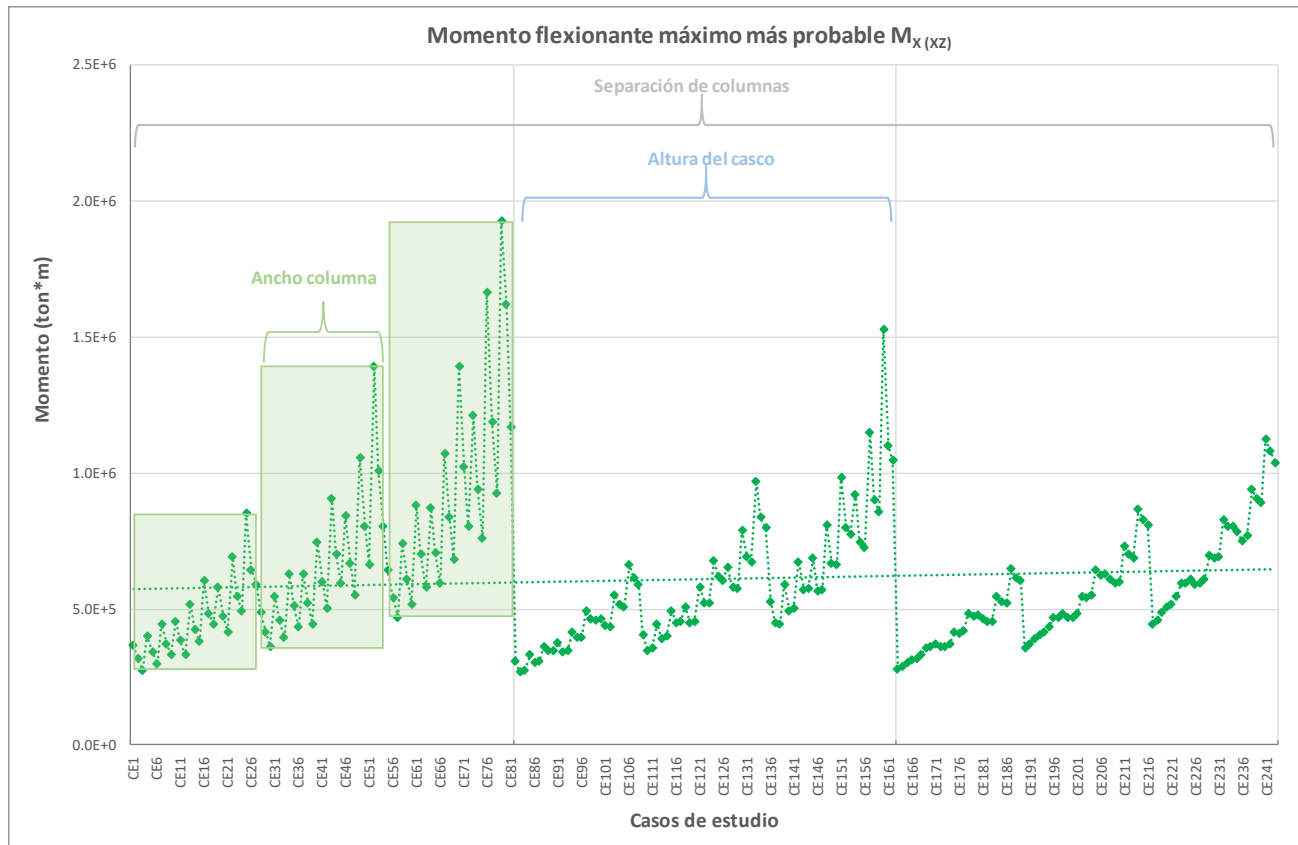


Figura 5.26 Valores máximos del momento flexionante $M_X (FXZ)$ (243 casos).

En el gráfico 5.26, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) el momento flexionante máximo $M_X (FXZ)$ aumenta, con incrementos poco perceptibles, de hecho, en algunos casos se compactan las amplitudes.

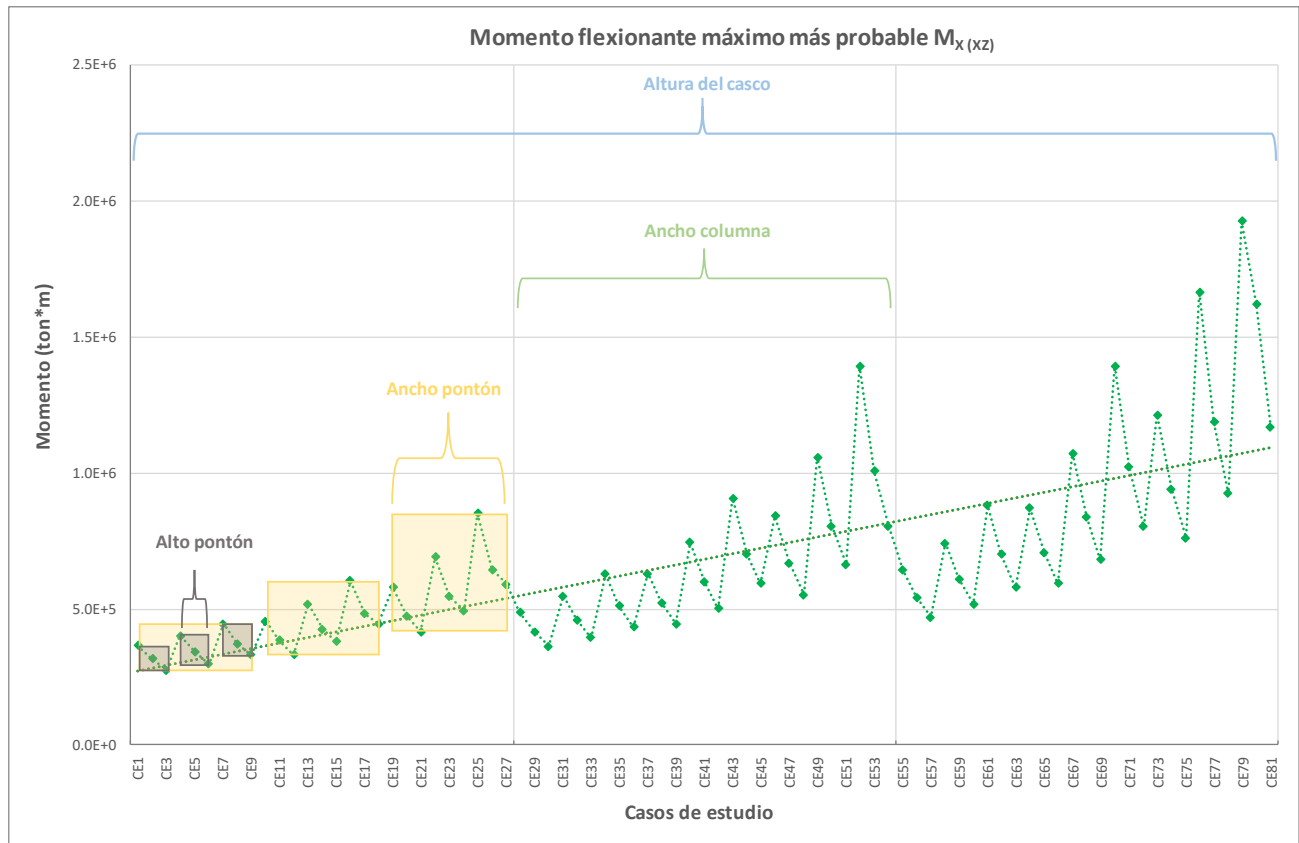


Figura 5.27 Valores máximos del momento flexionante $M_X (FXZ)$ (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.27. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón B_{ponton} . Conforme aumenta el ancho del pontón, el momento flexionante máximo $M_X (FXZ)$ también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón A_{ponton} (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir el momento flexionante máximo $M_X (FXZ)$.

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable del momento flexionante máximo $M_X (FXZ)$, será necesario tener los mínimos valores de las seis variables paramétricas.

Para este caso, la altura del casco también es un parámetro que tiene poca influencia en la amplitud momento flexionante máximo $M_X (FXZ)$.

5.2.7 Momento flexionante M_Y (xz)

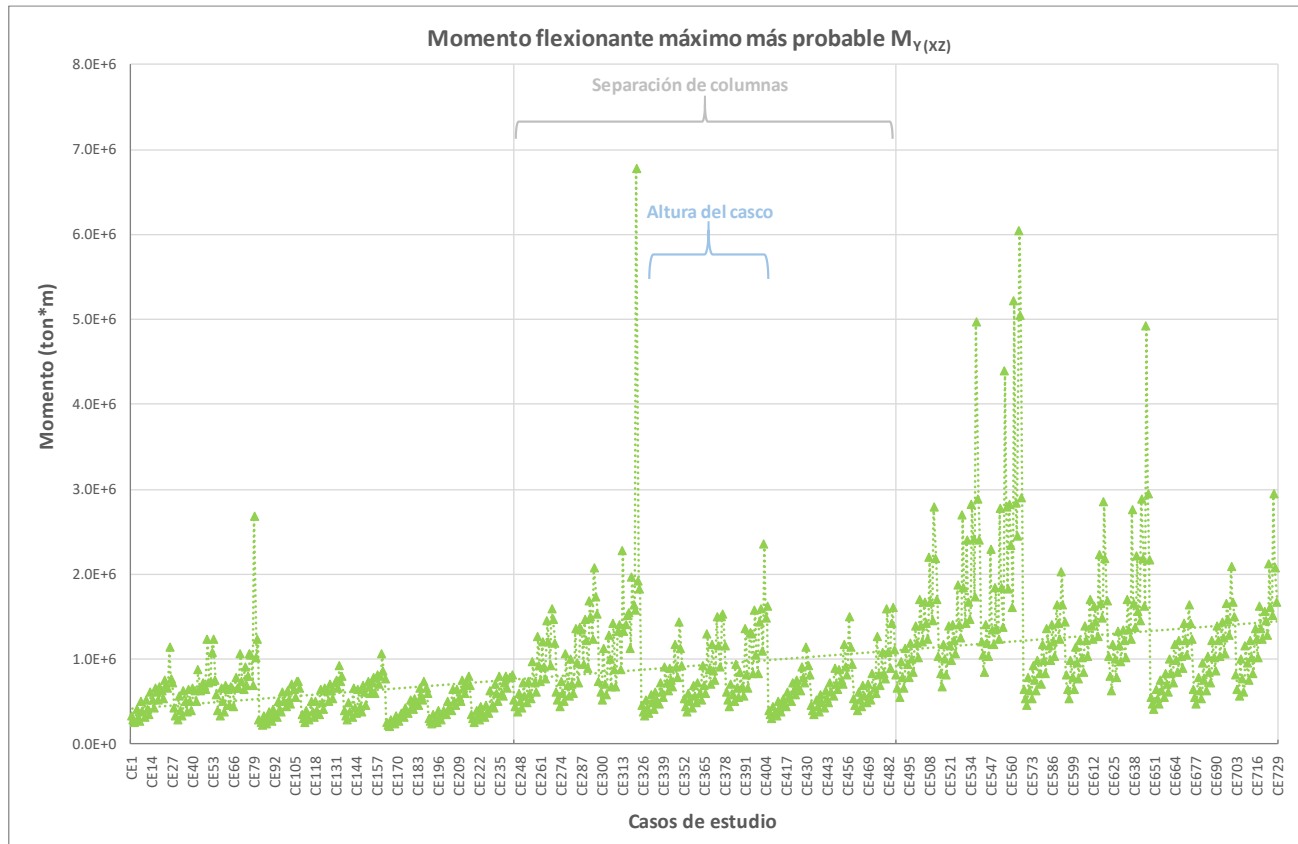


Figura 5.28 Valores máximos del momento flexionante M_Y (FXZ) (729 casos).

En el gráfico 5.28 se muestran los resultados del valor más probable del momento flexionante máximo M_Y (FXZ) de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), la amplitud del momento flexionante máximo M_Y (FXZ) aumenta.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.28, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar que al aumentar la altura H_{casco} la amplitud del momento flexionante máximo M_Y (FXZ) disminuye.

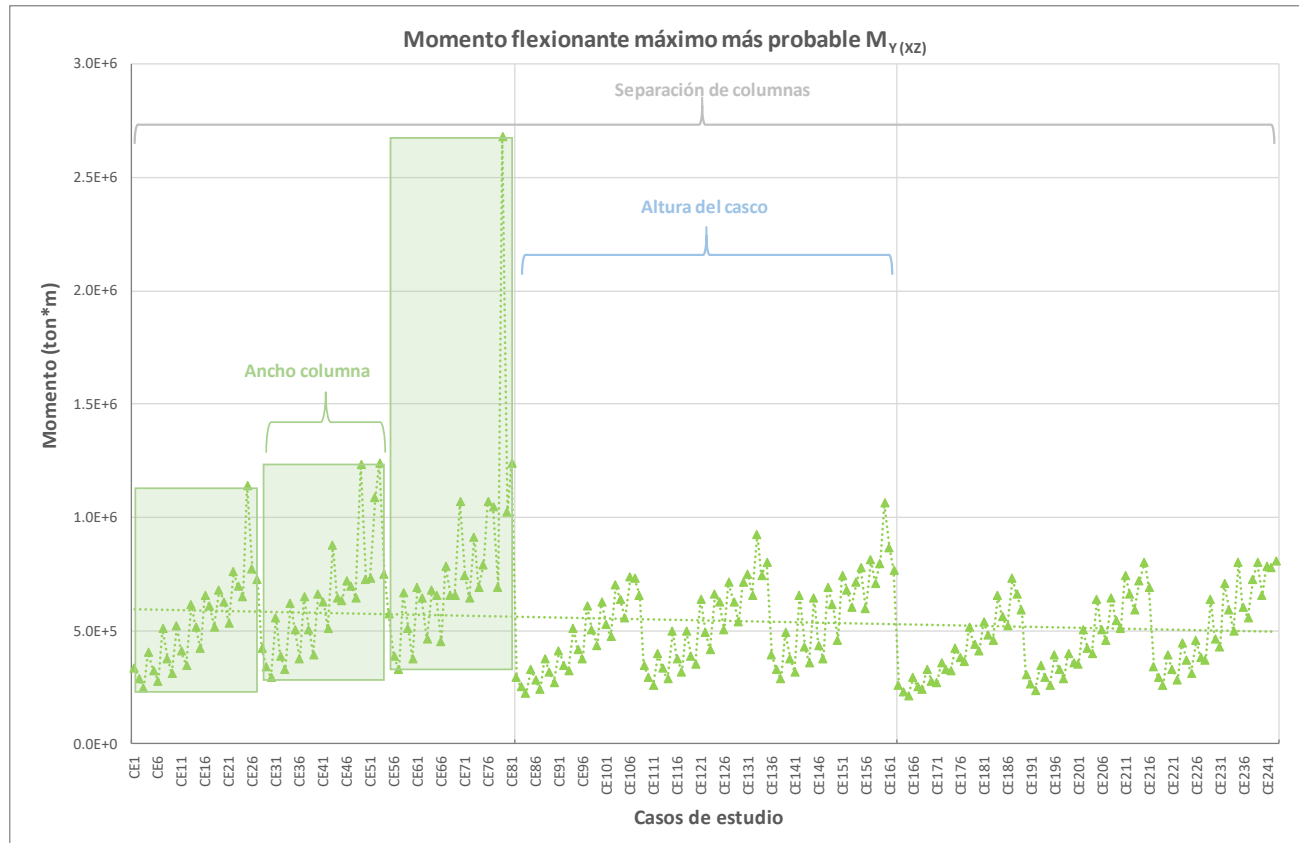


Figura 5.29 Valores máximos del momento flexionante $M_{Y(FXZ)}$ (243 casos).

En el gráfico 5.29, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) el momento flexionante máximo $M_{Y(FXZ)}$ aumenta, con incrementos poco perceptibles.

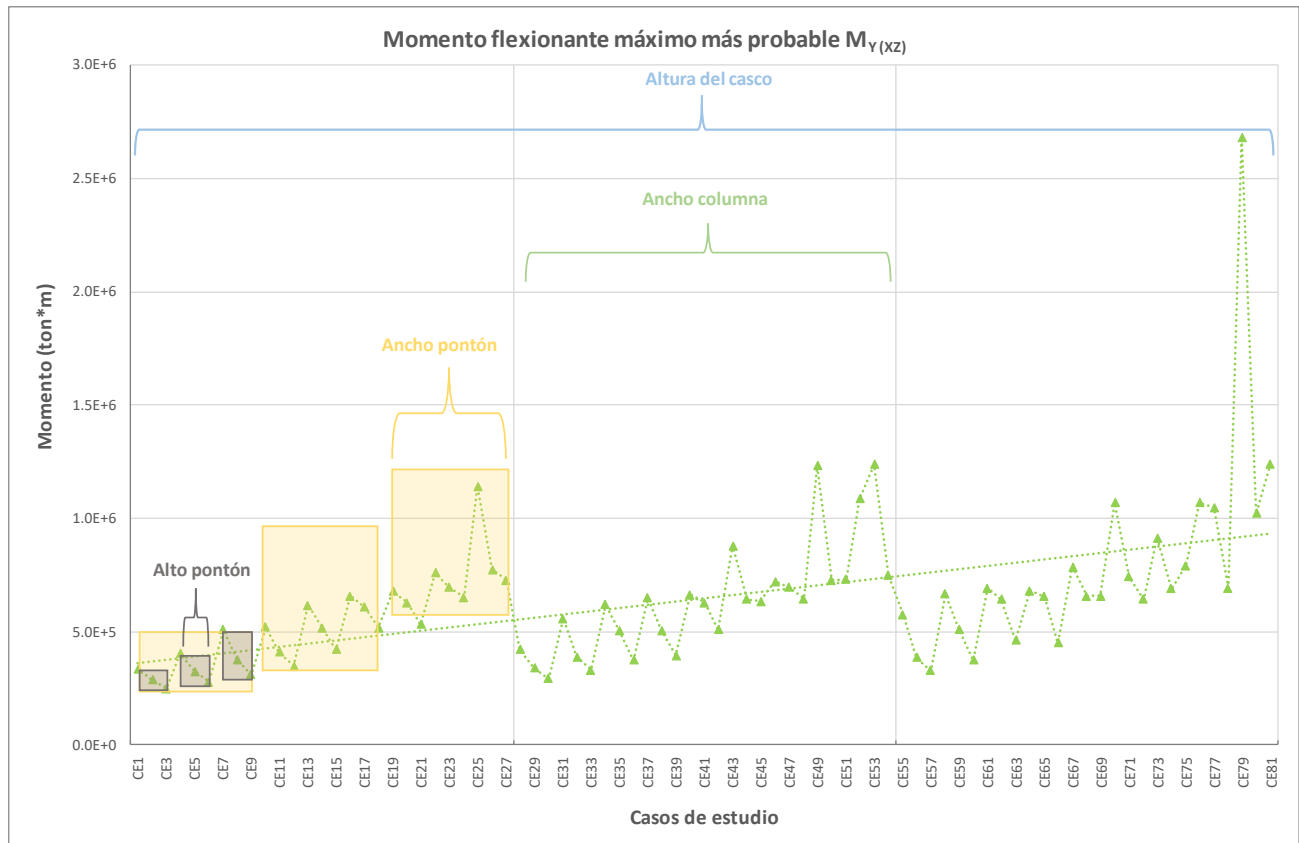


Figura 5.30 Valores máximos del momento flexionante $M_Y (FXZ)$ (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.30. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón B_{ponton} . Conforme aumenta el ancho del pontón, el momento flexionante máximo $M_Y (FXZ)$ también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón A_{ponton} (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir el momento flexionante máximo $M_Y (FXZ)$.

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable del momento flexionante máximo $M_X (FXZ)$, será necesario tener la máxima altura del casco y del calado y la mínima separación entre columnas, la mínima dimensión de la columna, el ancho y alto del pontón.

5.2.8 Aceleración Acc_x

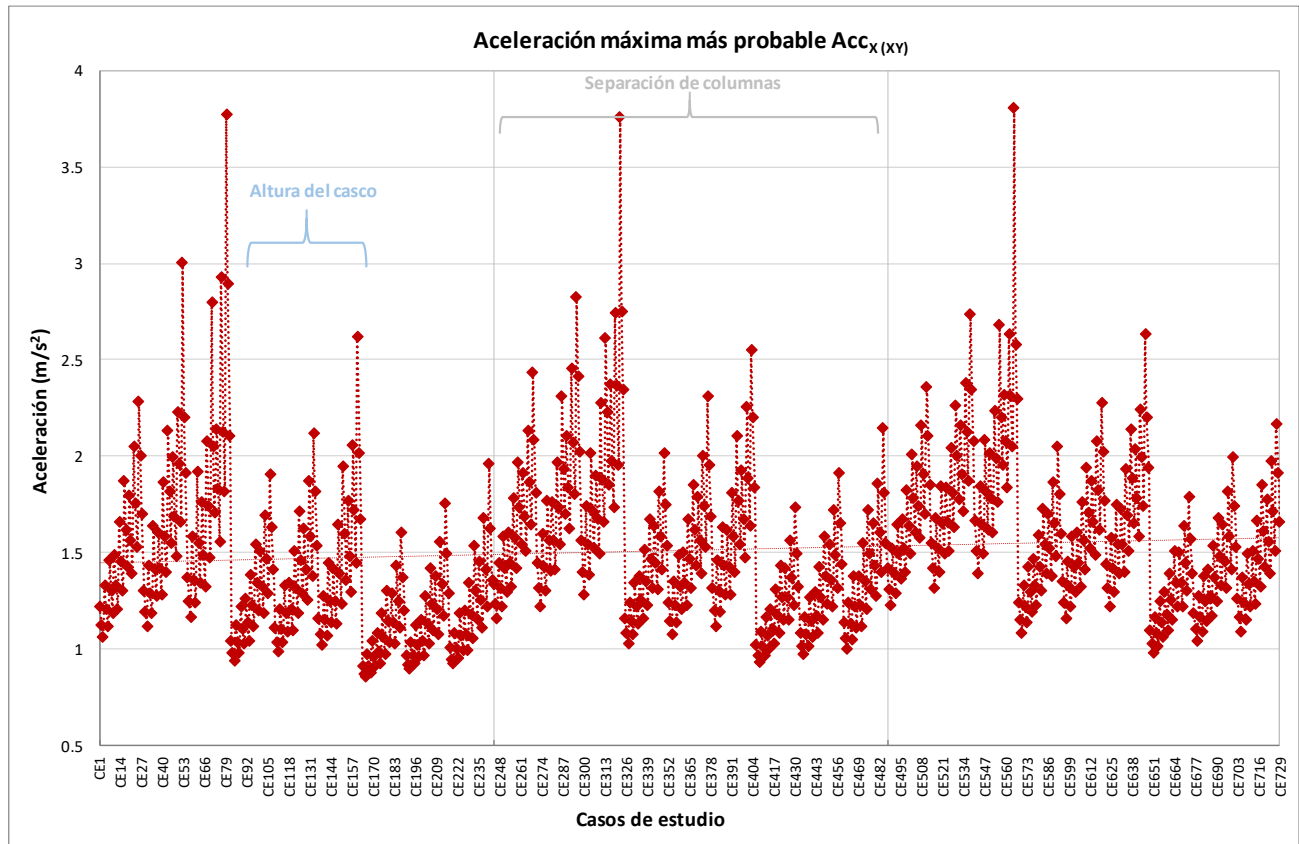


Figura 5.31 Valores máximos de aceleraciones Acc_x sobre la cubierta (729 casos).

En el gráfico 5.31 se muestran los resultados del valor más probable de la aceleración máxima Acc_x de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), la aceleración máxima Acc_x prácticamente permanece constante.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.31, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar que al aumentar la altura H_{casco} la aceleración máxima Acc_x disminuye.

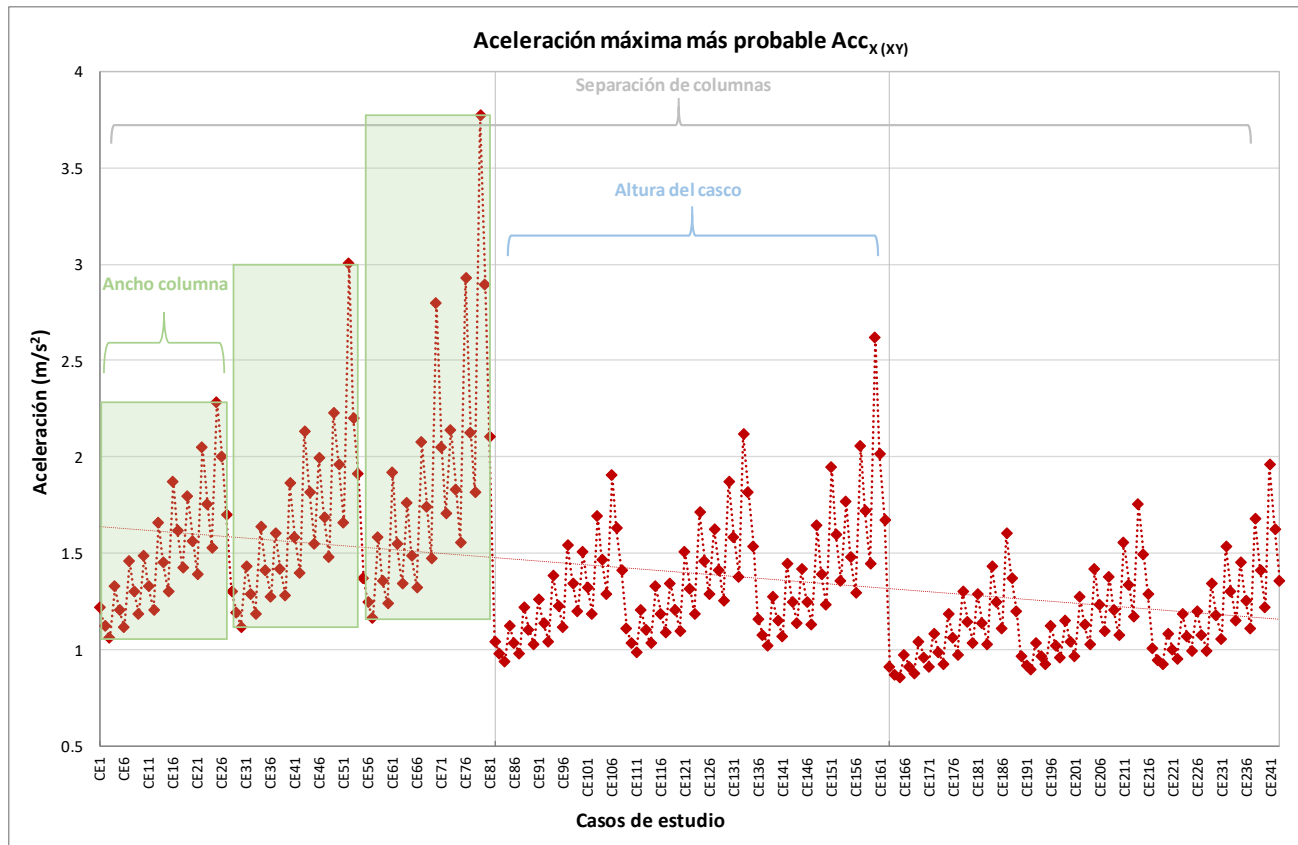


Figura 5.32. Valores máximos de aceleraciones Acc_x sobre la cubierta (243 casos).

En el gráfico 5.32, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) la aceleración máxima Acc_x aumenta, con incrementos poco perceptibles.

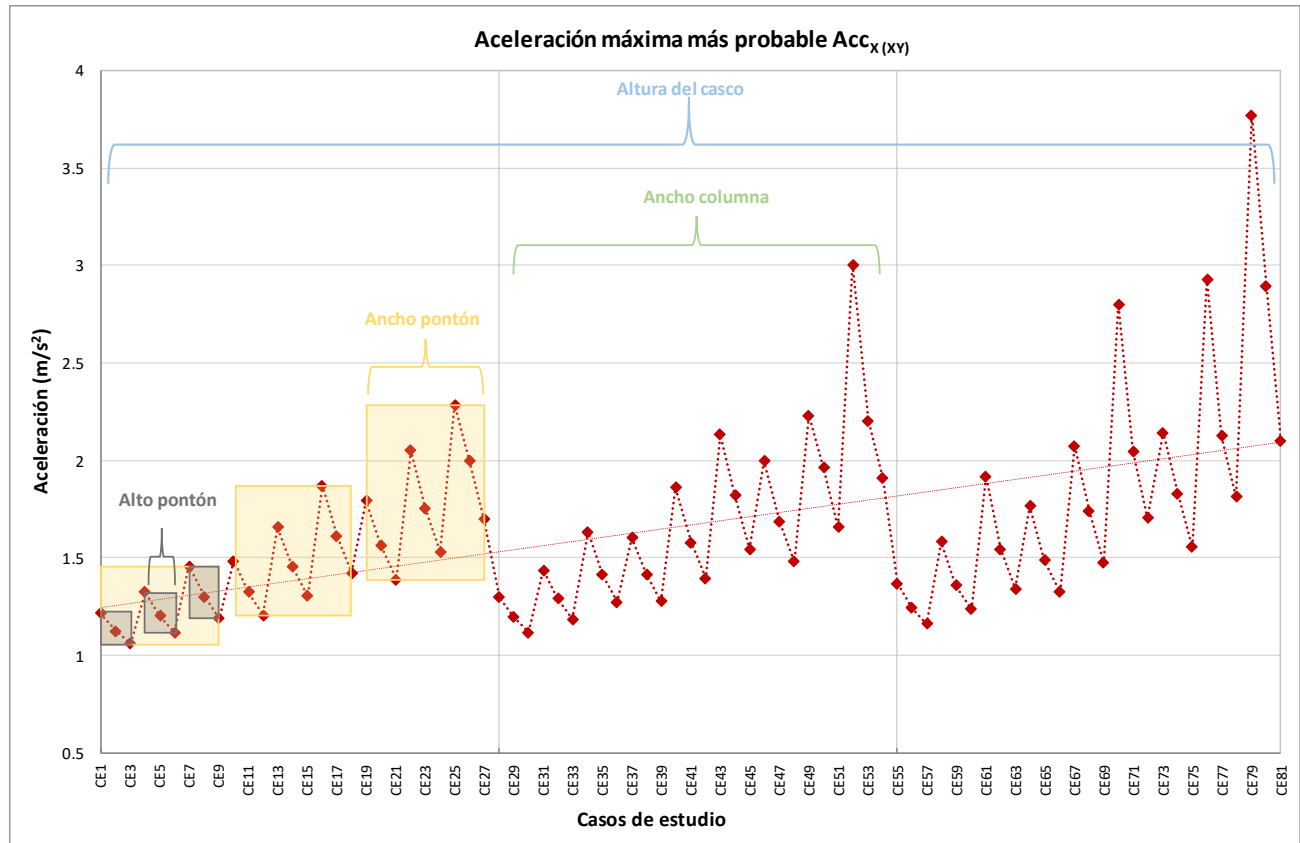


Figura 5.33 Valores máximos de aceleraciones Acc_x sobre la cubierta (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.33. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$. Conforme aumenta el ancho del pontón, la aceleración máxima Acc_x también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir la aceleración máxima Acc_x .

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable de la aceleración máxima Acc_x , será necesario tener máxima separación de la columna, altura del casco y del calado y la mínima dimensión de la columna, el ancho y alto del pontón.

5.2.9 Aceleración Acc_Y

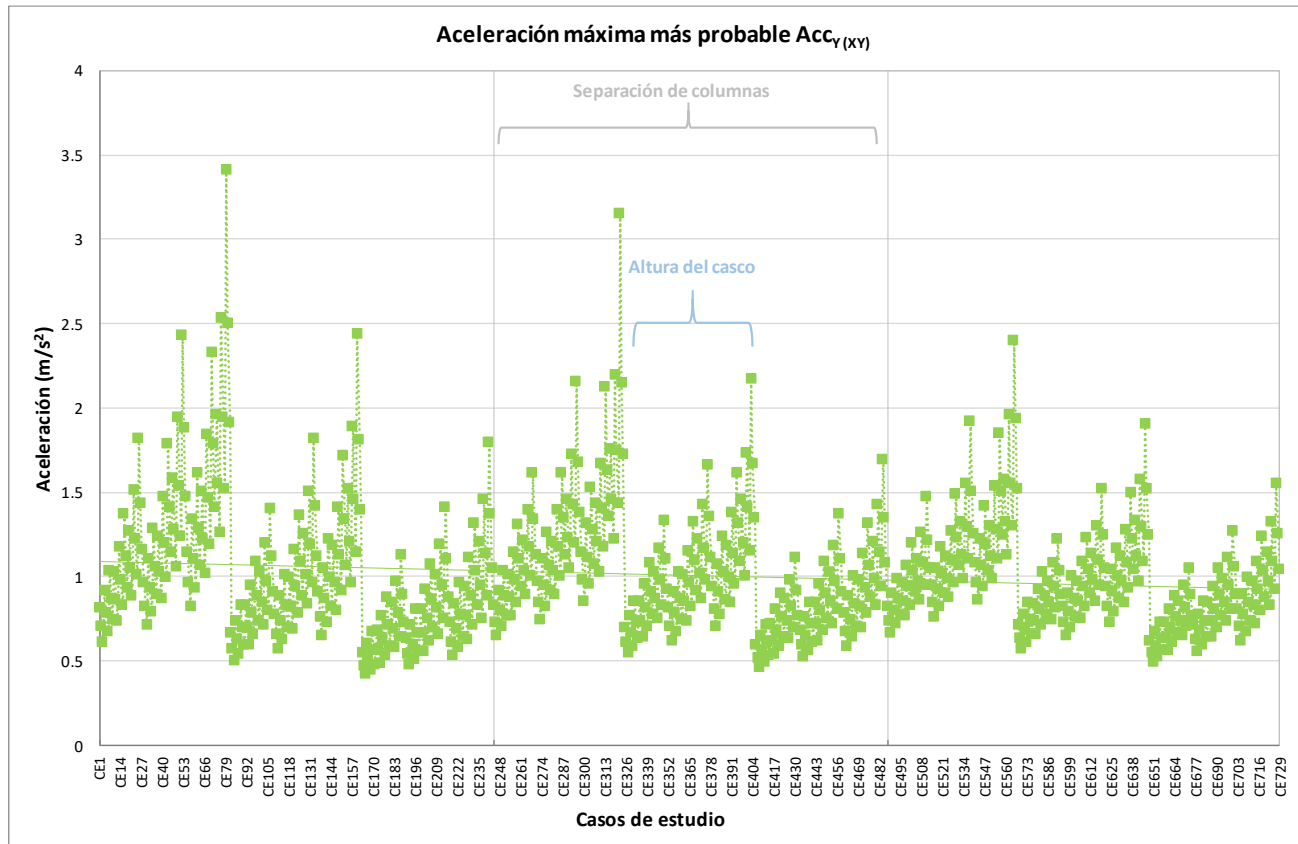


Figura 5.34 Valores máximos de aceleraciones Acc_Y sobre la cubierta (729 casos).

En el gráfico 5.34 se muestran los resultados del valor más probable de la aceleración máxima Acc_Y de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), la aceleración máxima Acc_Y disminuye con incrementos mínimos poco perceptibles.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.34, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar que al aumentar la altura H_{casco} la aceleración máxima Acc_Y disminuye.

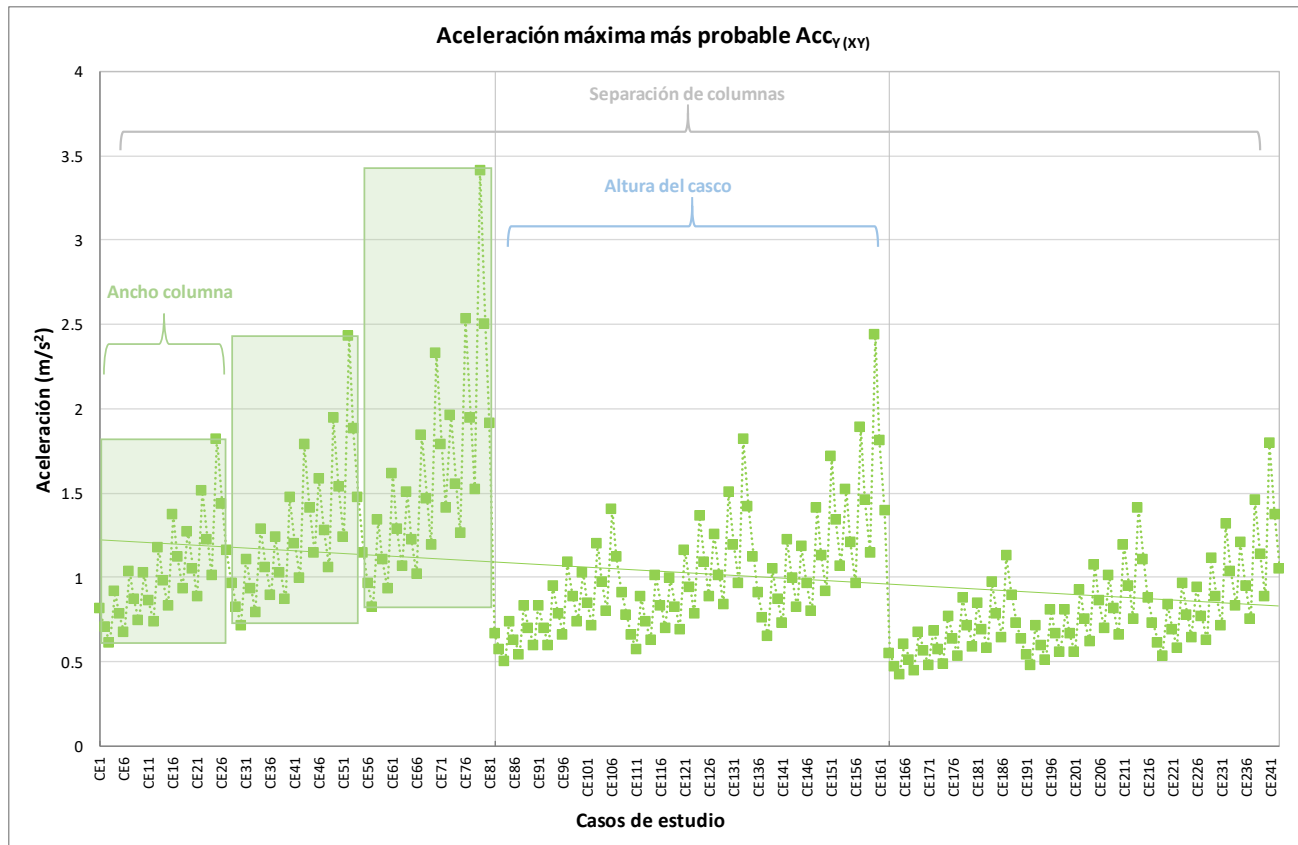


Figura 5.35 Valores máximos de aceleraciones Acc_Y sobre la cubierta (243 casos).

En el gráfico 5.35, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) la aceleración máxima Acc_Y aumenta, con incrementos poco perceptibles.

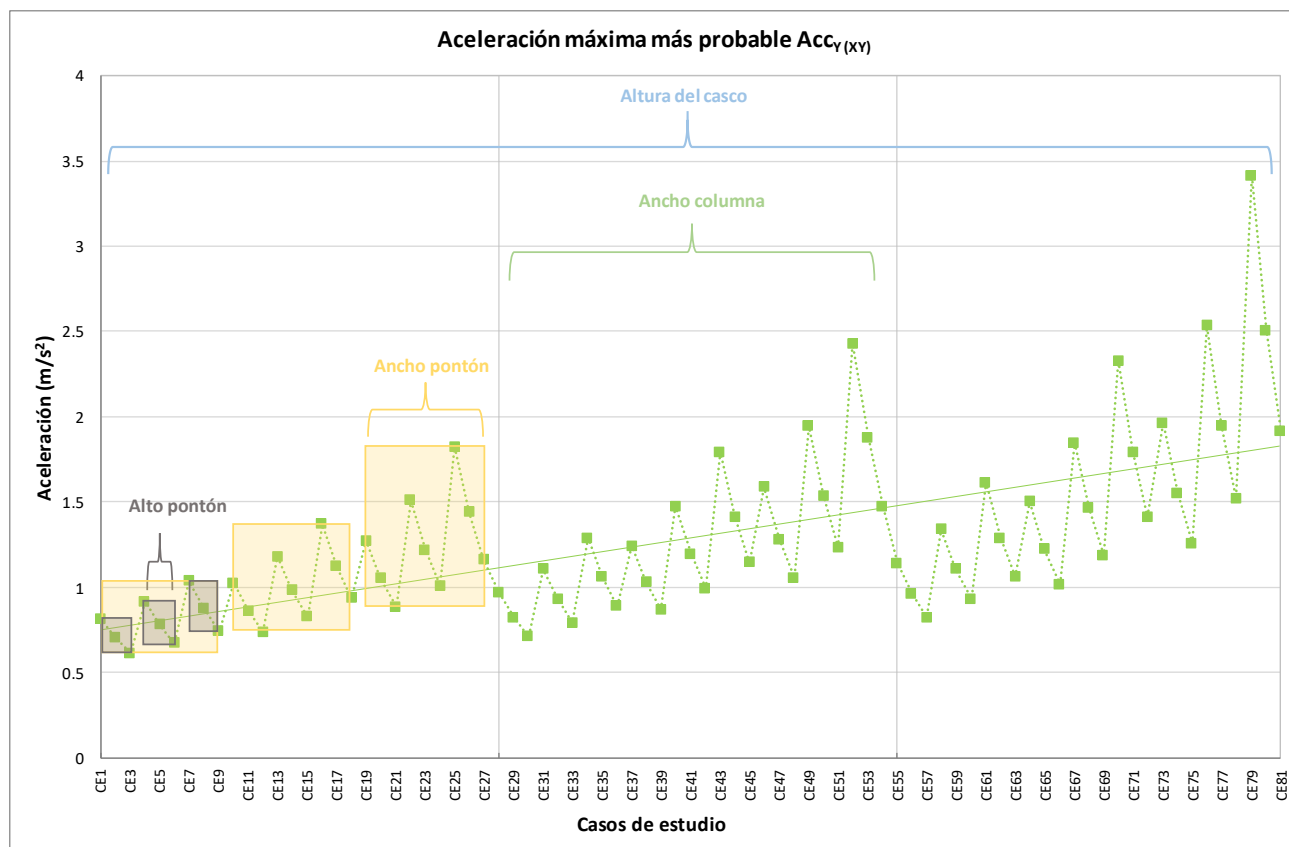


Figura 5.36 Valores máximos de aceleraciones Acc_{γ} sobre la cubierta (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.36. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$. Conforme aumenta el ancho del pontón, la aceleración máxima Acc_{γ} también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir la aceleración máxima Acc_{γ} .

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable de la aceleración máxima Acc_{γ} , será necesario tener máxima separación de la columna, altura del casco y del calado y la mínima dimensión de la columna, el ancho y alto del pontón.

5.2.10 Aceleración Accz

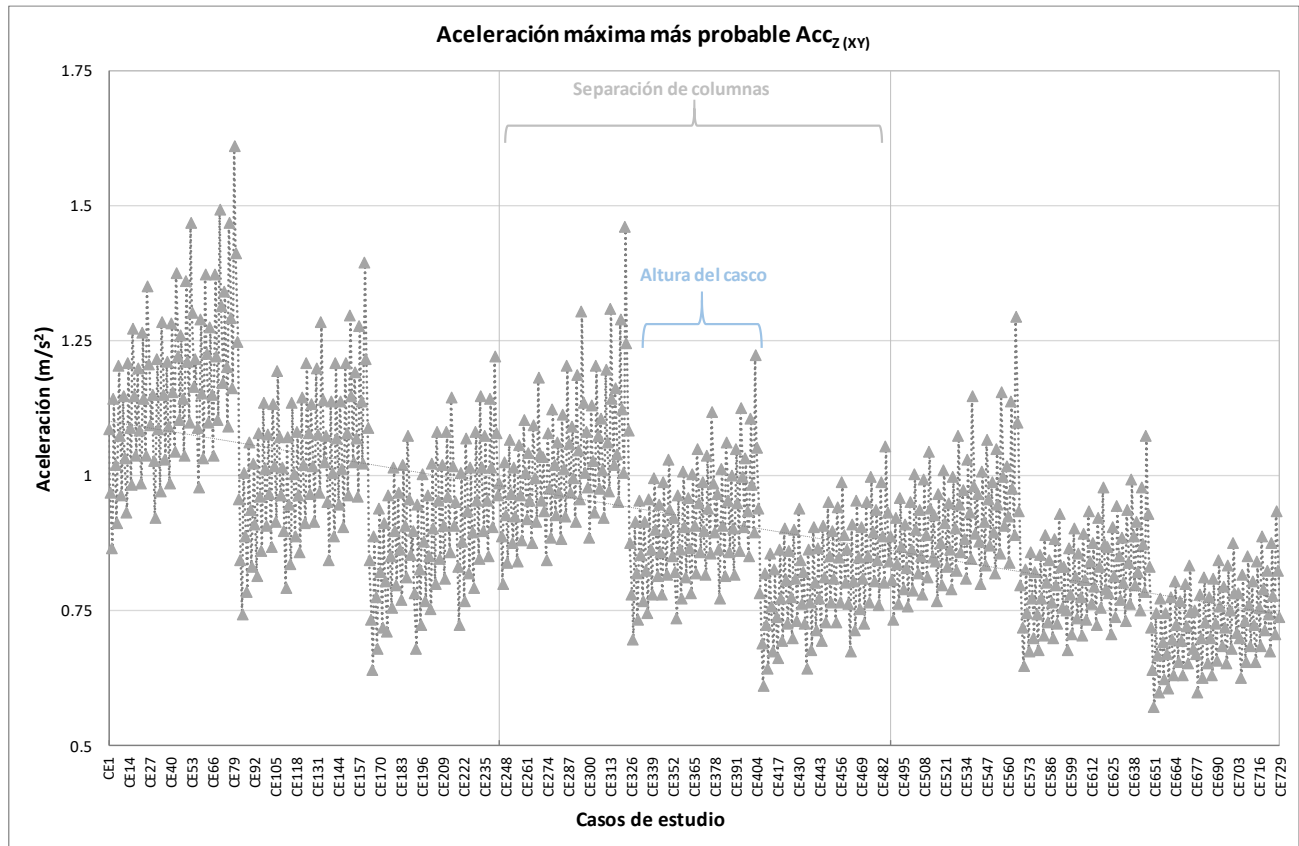


Figura 5.37 Valores máximos de aceleraciones Acc_γ sobre la cubierta (729 casos).

En el gráfico 5.37 se muestran los resultados del valor más probable de la aceleración máxima Acc_z de los 729 casos de estudio. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), la aceleración máxima Acc_γ disminuye.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.37, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar que al aumentar la altura H_{casco} la aceleración máxima Acc_z disminuye.

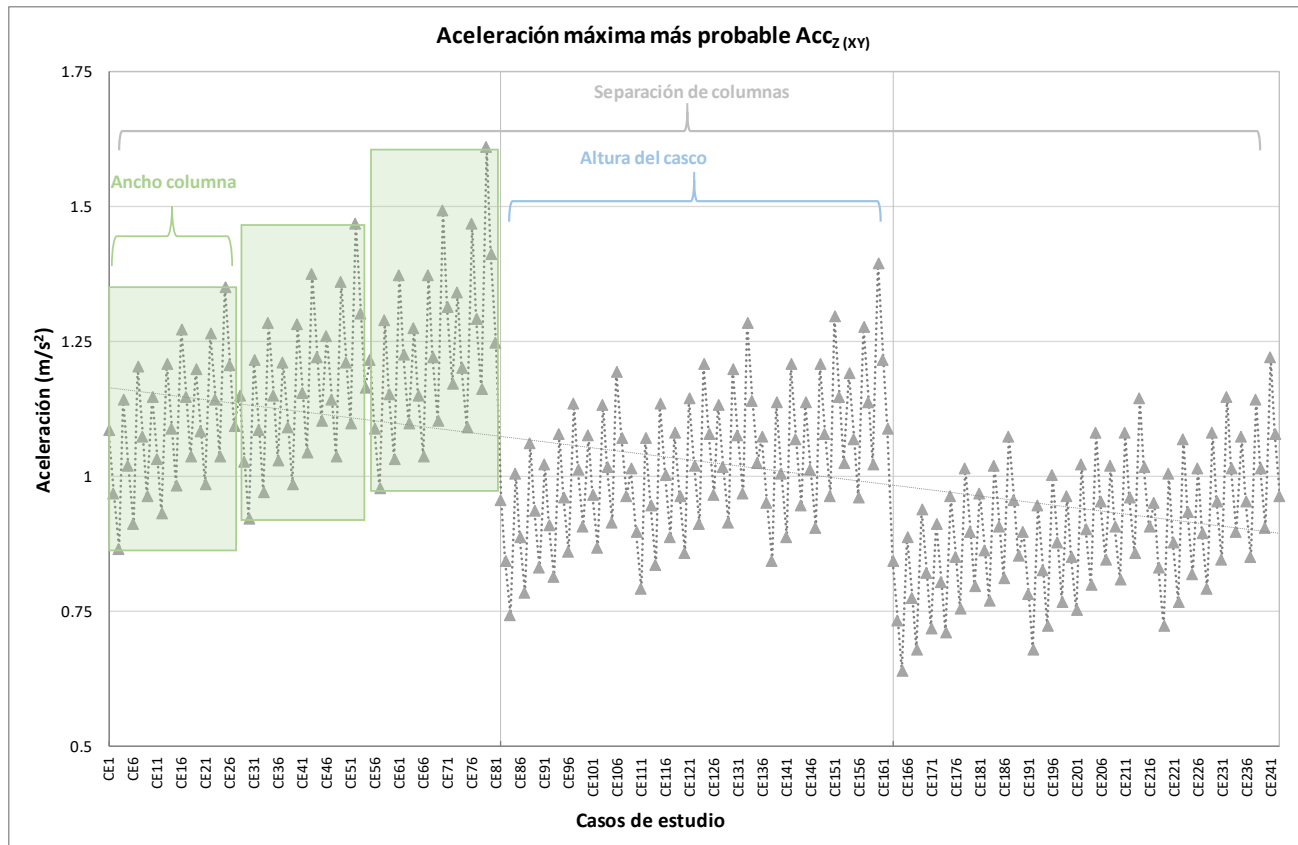


Figura 5.38 Valores máximos de aceleraciones Acc_z sobre la cubierta (243 casos).

En el gráfico 5.38, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) la aceleración máxima Acc_z aumenta.

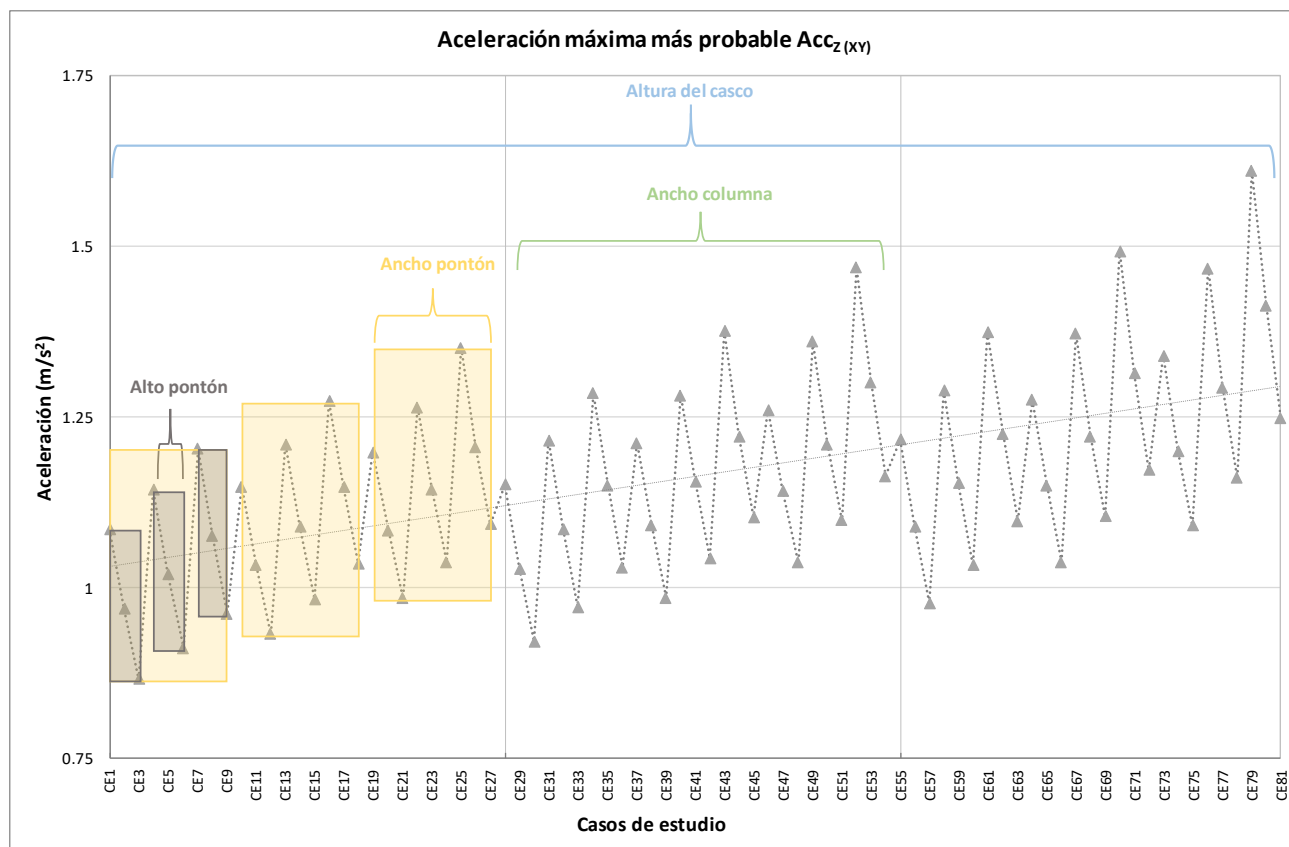


Figura 5.39 Valores máximos de aceleraciones Acc_z sobre la cubierta (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.39. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$. Conforme aumenta el ancho del pontón, la aceleración máxima Acc_z también aumenta. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre tiende a disminuir la aceleración máxima Acc_z .

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable de la aceleración máxima Acc_z , será necesario tener máxima separación de la columna, altura del casco y del calado y la mínima dimensión de la columna, el ancho y alto del pontón.

5.2.11 Air Gap en P2 y P3

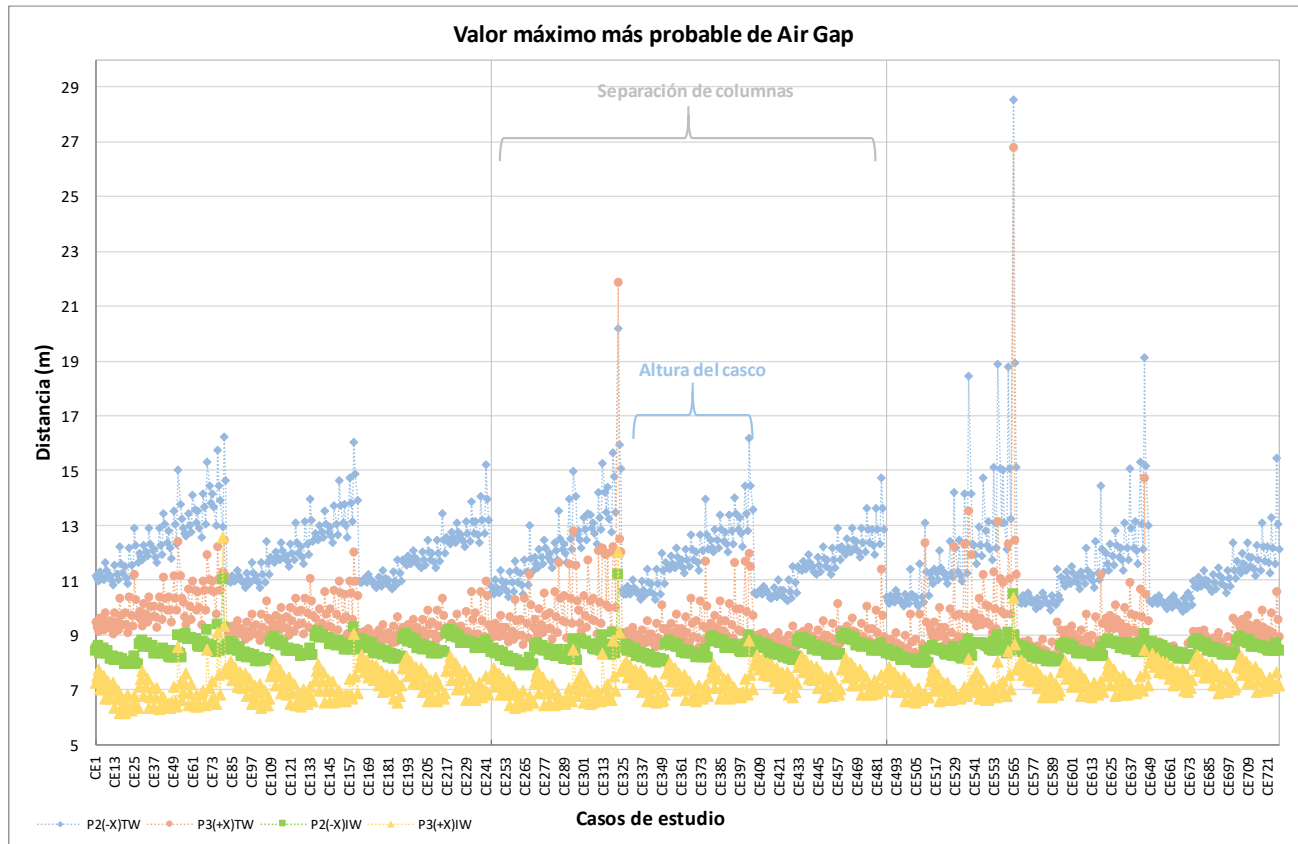


Figura 5.40 Valores máximos de Air Gap ($P2-P3$) (729 casos).

En el gráfico 5.40 se muestran los resultados del valor más probable del *Air Gap* ($P2-P3$) de los 729 casos de estudio. Las marcas de los valores en color azul (P2) y rosa (P3), corresponden al análisis del air gap con la ola total y las marcas de los valores en color verde (P2) y amarillo (P3), corresponden al análisis del air gap con la ola entrante. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), el *Air Gap máximo* ($P2-P3$) para la ola entrante aumenta, con incrementos apenas perceptibles, y para la ola total, el *Air Gap máximo* ($P2-P3$) tienden a disminuir, nuevamente, de manera poco perceptible.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.40, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar que al aumentar la altura H_{casco} el *Air Gap máximo* ($P2-P3$) para la ola entrante aumenta, apenas perceptible y para la ola total, el *Air Gap máximo* ($P2-P3$) tienden a disminuir, nuevamente es poco perceptible.

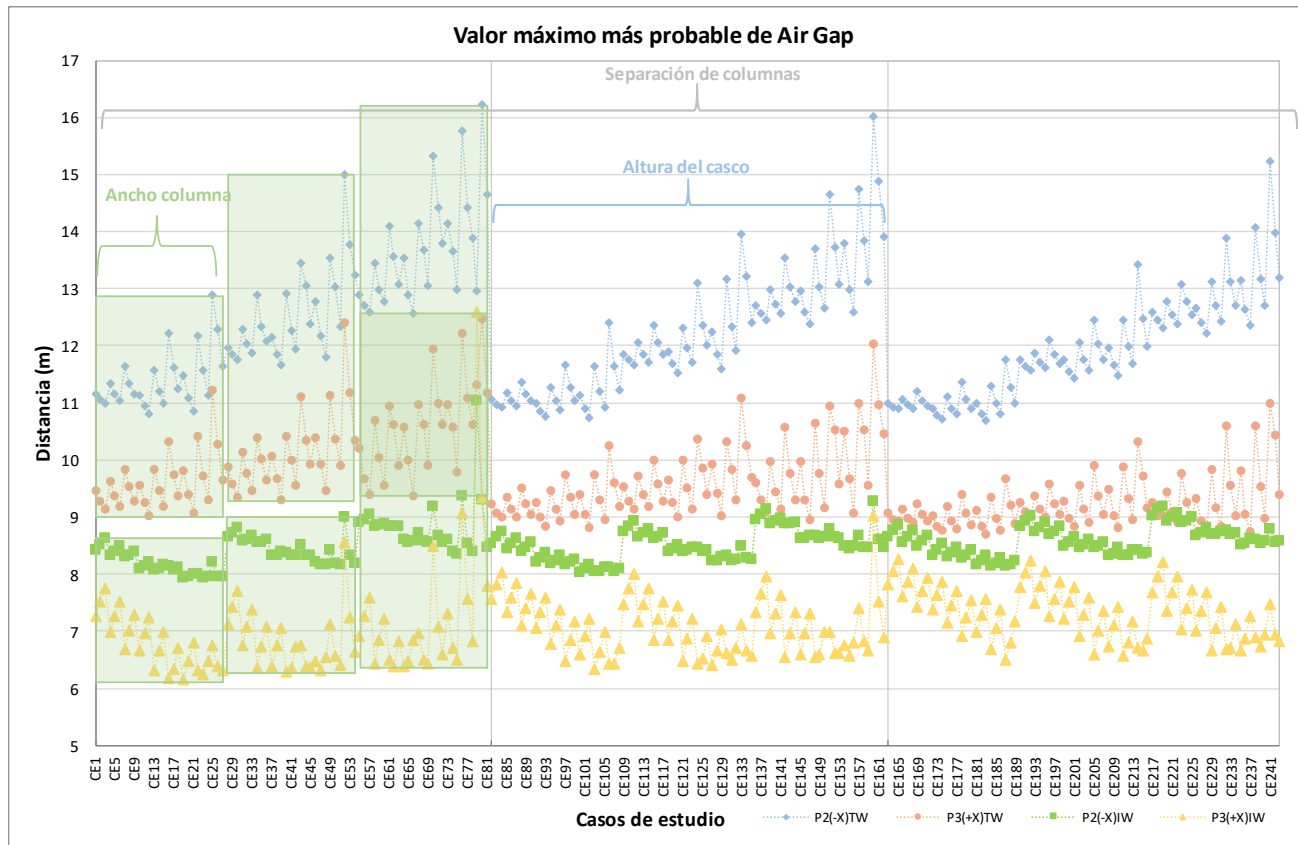


Figura 5.41 Valores máximos de Air Gap (P_{2-P3}) (243 casos).

En el gráfico 5.41, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) el Air Gap máximo (P_{2-P3}) para la ola entrante aumenta, con incrementos apenas perceptibles y para la ola total, el Air Gap máximo (P_{2-P3}) también aumenta, pero se aprecia de manera más clara.

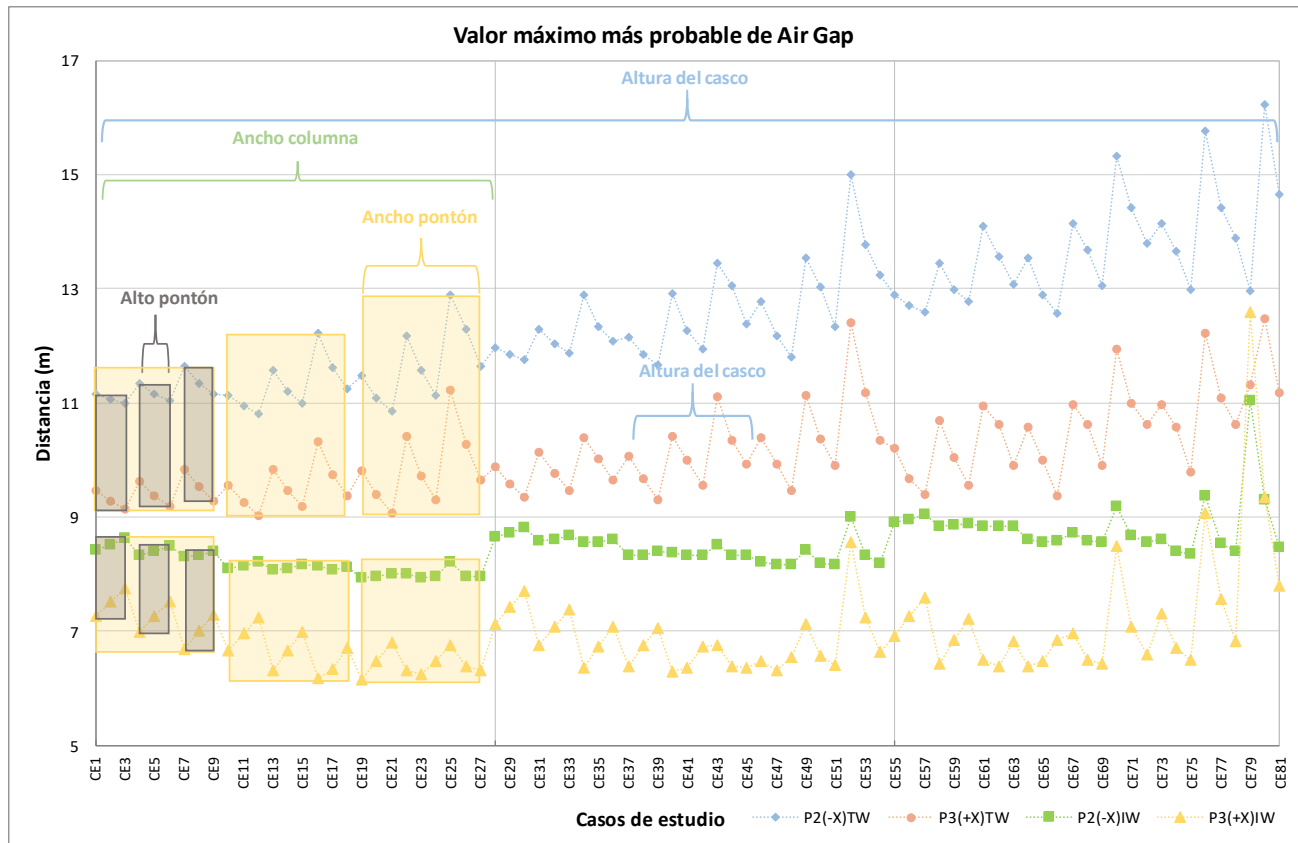


Figura 5.42 Valores máximos de Air Gap (P_{2-P3}) (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.42. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$. Conforme aumenta el ancho del pontón, el *Air Gap máximo* (P_{2-P3}) para la ola entrante muestra una tendencia a disminuir y para la ola total, el *Air Gap máximo* (P_{2-P3}) es a aumentar. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor siempre el *Air Gap máximo* (P_{2-P3}) para la ola entrante y para ola total disminuye.

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable del *Air Gap máximo* (P_{2-P3}), será necesario tener para la ola entrante una mínima altura de calado, una dimensión mínima del ancho de la columna, una máxima dimensión del ancho y alto del pontón y para la ola total será necesario una máxima altura de calado, una dimensión mínima del ancho de la columna, del ancho y alto del pontón.

Los parámetros de separación de la columna y altura del casco tienen una influencia mínima en los cambios de valor del *Air Gap máximo* (P_{2-P3}).

5.2.12 Air Gap en P1, P4 y P5

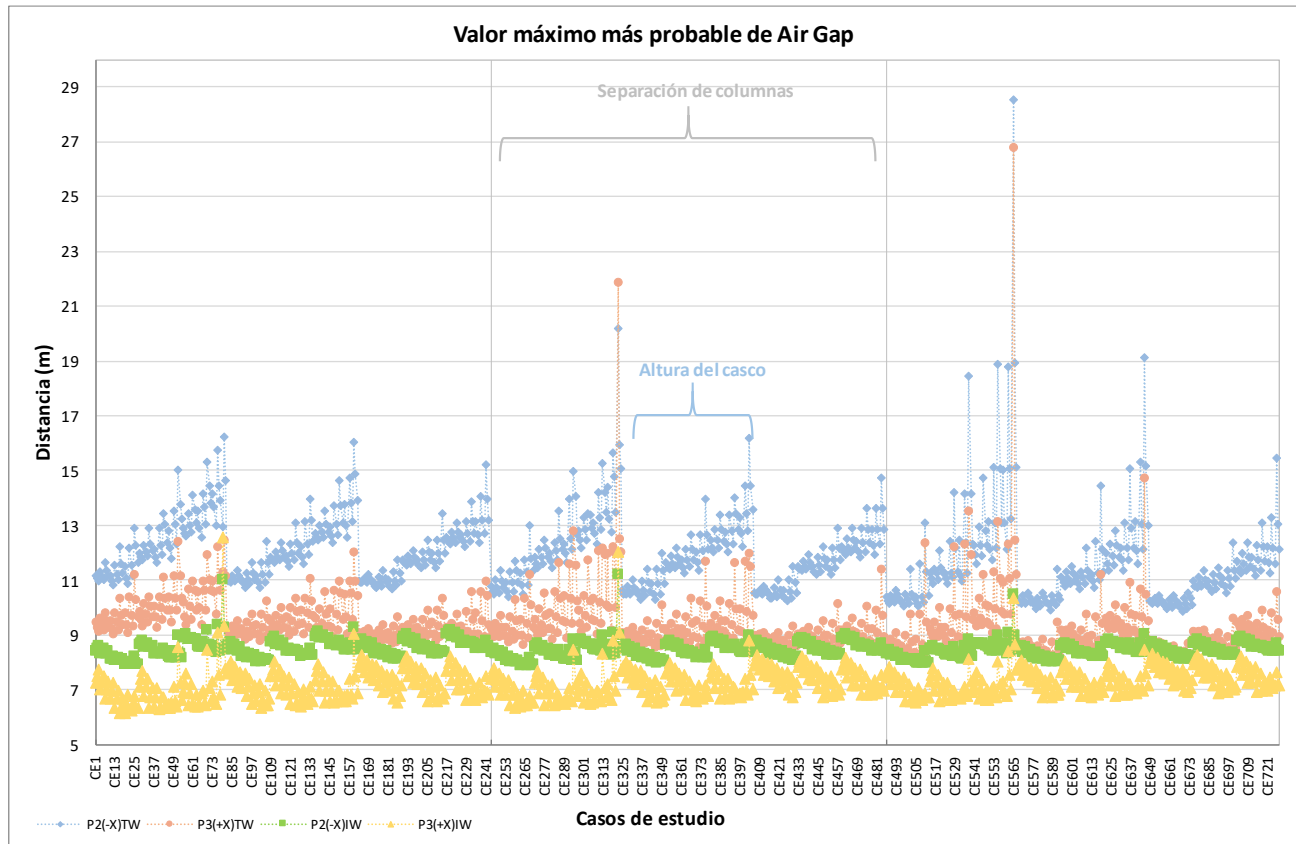


Figura 5.43 Valores máximos de Air Gap (P1- P4-P5) (729 casos).

En el gráfico 5.43 se muestran los resultados del valor más probable del *Air Gap máximo* (P1-P4-P5) de los 729 casos de estudio. Las marcas de los valores en color verde (P1), gris (P4) y naranja (P5), corresponden al análisis del air gap con la ola total y las marcas de los valores en color rojo (P1), amarillo (P4) y azul (P5), corresponden al análisis del air gap con la ola entrante. Se puede apreciar en el gráfico dos líneas verticales que dividen el gráfico en tres partes iguales a cada 243 casos de estudio, los cuales corresponden a la variación de la primera variable paramétrica, la separación entre columnas (S_{col}), por lo tanto, se puede observar que conforme aumenta la distancia de separación de las columnas (de izquierda a derecha), el *Air Gap máximo* (P1-P4-P5) para la ola entrante y para ola total, aumentan.

La segunda variable paramétrica que se aprecia en el gráfico 5.43, es la altura del casco (H_{casco}). A cada 243 casos de estudio, hay tres grupos a cada 81 casos de estudio, que representan la variación de la altura del casco. Se puede observar que al aumentar la altura H_{casco} el *Air Gap máximo* (P1-P4-P5) para la ola entrante y para ola total, tiene una tendencia poco perceptible a aumentar.

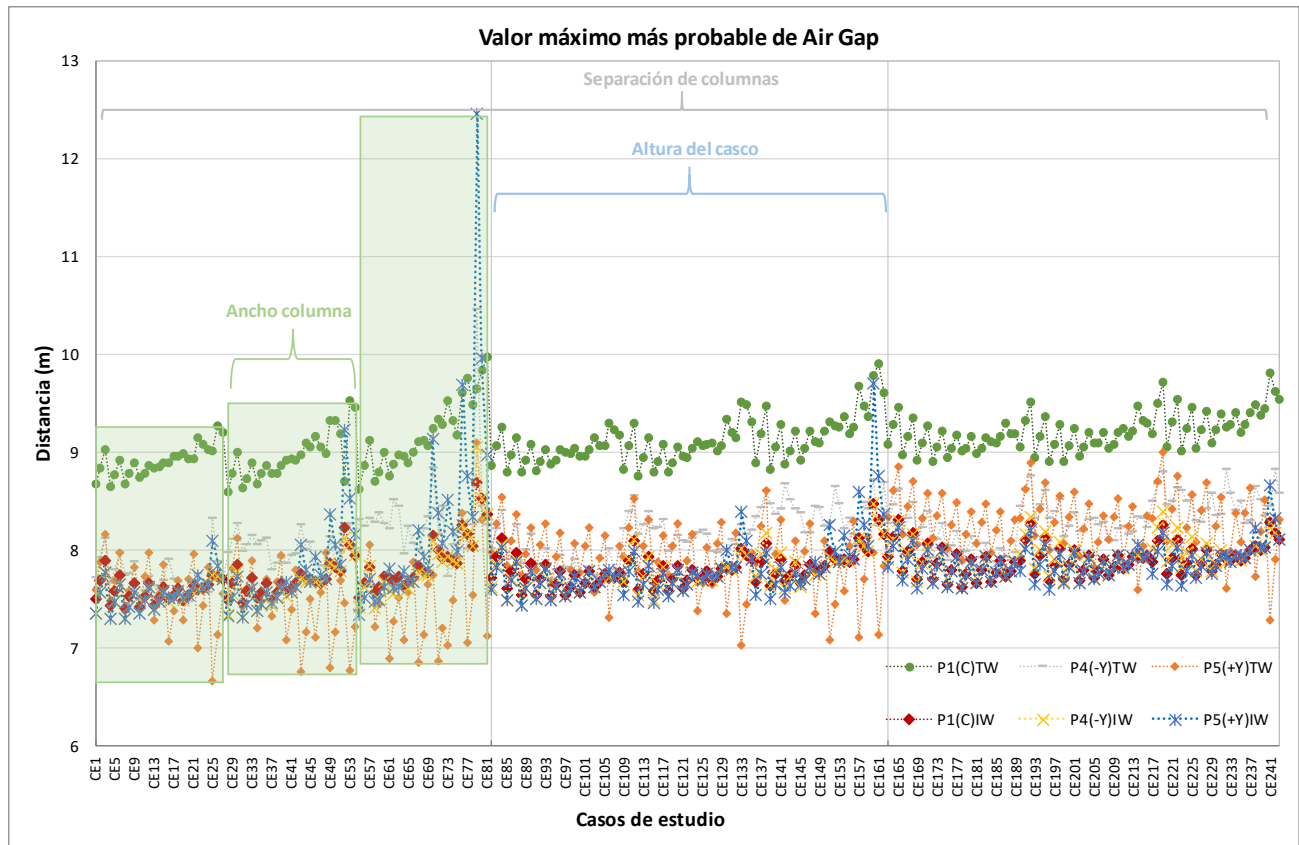


Figura 5.44 Valores máximos de Air Gap (P_1 - P_4 - P_5) (243 casos).

En el gráfico 5.44, sólo se muestran los primeros 243 casos de estudio para una misma separación entre columnas, de la misma manera que el gráfico anterior se dividió en tres partes, a cada 81 casos de estudio, que representa la variación de la altura del casco. Dentro de cada una de ellas podemos observar en recuadros verdes lo que representa la tercera variable paramétrica, el ancho de la columna B_{col} , que varía cada 27 casos de estudio, de lo cual, se ve que al aumentar la dimensión de la columna (dado que es cuadrada) la amplitud del Air Gap máximo (P_1 - P_4 - P_5) para la ola entrante aumenta, con incrementos apenas perceptibles y para la ola total, el Air Gap máximo (P_1 - P_4 - P_5) también aumenta.

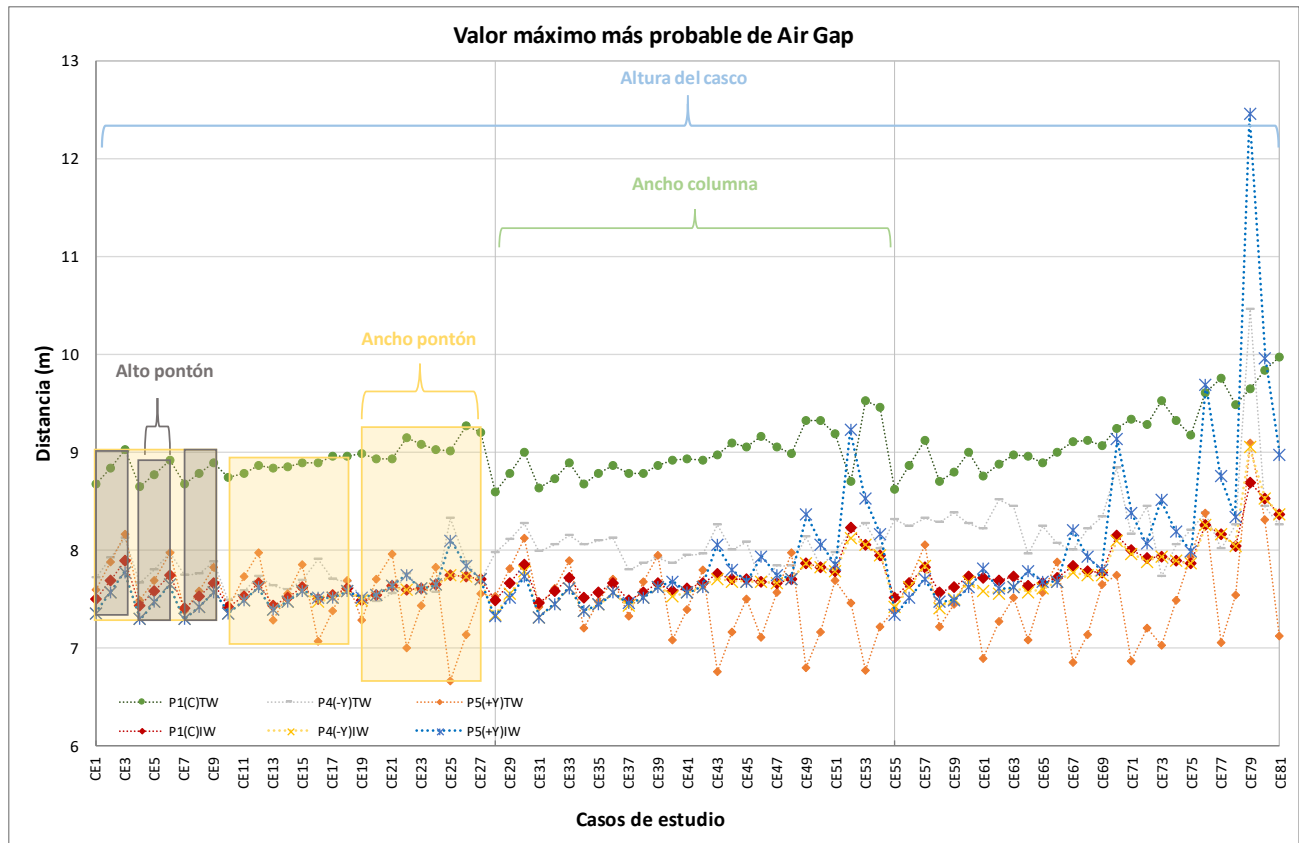


Figura 5.45 Valores máximos de Air Gap (P_1 - P_4 - P_5) (81 casos).

El comportamiento de las últimas tres variables paramétricas se muestra en el gráfico 5.45. Se observa que están graficados los primeros 81 casos de estudio, divididos en tres partes, a cada 27 casos de estudio. Los recuadros en color amarillo (a cada 9 caso de estudio) representan la cuarta variable paramétrica, el ancho del pontón $B_{pontón}$. Conforme aumenta el ancho del pontón, el *Air Gap máximo* (P_1 - P_4 - P_5) para la ola entrante muestra una tendencia a disminuir y para la ola total, el *Air Gap máximo* (P_1 - P_4 - P_5) es a aumentar. Lo mismo sucede con la quinta variable paramétrica, el alto del pontón $A_{pontón}$ (a cada 3 casos de estudio), se pueden observar con los recuadros grises.

Finalmente, la última variable paramétrica, la altura del calado H_{calado} , muestra que al aumentar su valor para valores mínimos del ancho del pitón aumenta el *Air Gap máximo* (P_1 - P_4 - P_5) y para valores máximos del ancho del pontón los disminuye, ambos casos aplican para la ola entrante y para ola total.

Por lo tanto, para minimizar el valor más probable del *Air Gap máximo* (P_1 - P_4 - P_5), será necesario tener para la ola entrante una mínima altura de calado, una dimensión mínima del ancho de la columna, una máxima dimensión del ancho y alto del pontón y para la ola total será necesario una máxima altura de calado, una dimensión mínima del ancho de la columna, del ancho y alto del pontón.

Los parámetros de separación de la columna y altura del casco tienen una influencia mínima en los cambios de valor del Air Gap máximo (P1-P4-P5).

Para entender mejor y de manera más clara lo descrito en el comportamiento variable de respuesta y la influencia de cada variable paramétrica, se hace un resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5.3 Influencia de las variables paramétricas en las variables de respuesta.

VARIABLES DE RESPUESTA	VARIABLES PARAMÉTRICAS					
	S_{col}	H_{casco}	B_{col}	$B_{pontón}$	$A_{pontón}$	H_{calado}
Arfada	DISMINUYE	DISMINUYE	AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
Balanceo		DISMINUYE	AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
Cabeceo		DISMINUYE	AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
$M_x (FYZ)$	AUMENTA		AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
$M_y (FYZ)$	AUMENTA		AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
$M_x (FXZ)$	AUMENTA		AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
$M_y (FXZ)$	AUMENTA		AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
Acc_x		DISMINUYE	AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
Acc_y		DISMINUYE	AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
Acc_z	DISMINUYE	DISMINUYE	AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
$AGIW_{(P2-P3)}$			AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	AUMENTA
$AGIW_{(P1-P4-P5)}$			AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE
$AGTW_{(P2-P3)}$			AUMENTA	DISMINUYE	DISMINUYE	AUMENTA
$AGTW_{(P1-P4-P5)}$			AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA	DISMINUYE

Las seis variables paramétricas tienen un valor mínimo y un máximo, todas las gráficas de este capítulo (5.10 a 5.45) se construyeron por la combinación de todas las variables paramétricas y se combinan del valor mínimo al máximo (ver tabla A.1 del Anexo A). Dicho esto, la tabla muestra la influencia que tienen las variables paramétricas en la amplitud de la variable de respuesta, cuando varían del mínimo al máximo valor.

Por ejemplo, para el caso del movimiento en arfada, cuando aumenta el valor de la separación entre columnas, disminuye el valor más probable del movimiento máximo en arfada, la misma influencia tiene la altura del casco y la altura del calado. Y cuando las variables paramétricas ancho de la columna, ancho y alto del pontón aumentan el valor más probable de la respuesta para el movimiento máximo en arfada aumenta.

Los espacios en blanco que se muestran en la tabla significan que la variable paramétrica, tiene una influencia de muy baja a nula en la variación de la variable de respuesta.

Hasta aquí, se analizó la influencia de las variables paramétricas en cada variable de respuesta, pero no es posible seleccionar de manera simple, cuál de los casos de estudio minimiza mejor todas las variables de respuesta.

En el siguiente capítulo se propuso un procedimiento para poder seleccionar el caso de estudio que mejor minimiza las respuestas máximas más probables.

5.3 Selección del caso de estudio

En el inciso anterior se mostraron los resultados de los 729 casos de estudio para cada variable de respuesta de manera gráfica, con el propósito de identificar, cuál o cuáles de las variables paramétricas tiene más influencia en la minimización de la amplitud de la respuesta máxima más probable de un SFP tipo semisumergible.

A parte de observar gráficamente las variables, los resultados tabulados los podemos ver en el Anexo B (*tablas B.I a la B.XV*). De dichas tablas se extraen los valores mínimos de las respuestas máximas más probables para cada variable de respuesta, esto con el fin de identificar que configuración del casco o caso de estudio minimiza más la respuesta.

En la tabla 5.4 se muestra el caso de estudio que arrojó el valor mínimo de la respuesta máxima más probable para cada variable.

Tabla 5.4 Valor mínimo de la respuesta máxima más probable para cada variable de respuesta.

Caso de estudio	Variable de respuesta	Valor mínimo del máximo más probable
CE651	Arfada (Heave)	2.304 m
CE165	Balanceo (Roll)	1.70°
CE192	Cabeceo (Pitch)	1.60°
CE84	Momento flexionante (M_x) ⁹	1.978E+5 ton*m
CE165	Momento flexionante (M_y) ¹⁰	2.143E+5 ton*m
CE165	Aceleración sobre cubierta (Acc_x)	0.852 m/s ²
CE165	Aceleración sobre cubierta (Acc_y)	0.418 m/s ²
CE651	Aceleración sobre cubierta (Acc_z)	0.571 m/s ²

⁹ Se tomo el valor mínimo de la respuesta máxima más probable para M_x sin considerar el plano (XZ o YZ) en donde actúa la fuerza.

¹⁰ Se tomo el valor mínimo de la respuesta máxima más probable para M_y sin considerar el plano (XZ o YZ) en donde actúa la fuerza.

Para el caso de airgap se tiene que obtener el mínimo valor de airgap para tres diferentes alturas del casco. Esto es, porque el airgap es el resultado de la diferencia entre el calado y de la altura del casco menos la altura de la ola ($AG = \{H_{casco} - Calado\} - H_{ola}$) y como el calado, de acuerdo con la construcción paramétrica del SFP, es un porcentaje de la altura del casco, para una misma altura de ola, en equilibrio estático, el airgap siempre será mayor conforme sea mayor la altura del casco. Por este razonamiento, se tabularon de manera independiente los máximos valores de airgap que minimizan la respuesta máxima más probable, para cada punto de contacto (ver figura 5.5) y para cada altura del casco.

Tabla 5.5 Valor mínimo de la respuesta máxima más probable para Air Gap.

Caso de estudio	Altura del Casco	Punto	Valor de la respuesta (m)
CE10	40	P3 (+X)	6.162
CE100	45	P3 (+X)	6.581
CE181	50	P3 (+X)	6.976

Para determinar que configuración geométrica del casco que reduce las respuestas, se encontró en todos los análisis realizados, que el Air Gap no es una variable que controle o predomine en la selección del caso de estudio. Pero si es un parámetro, como la estabilidad, que se tienen que cumplir y en el que éste, debe ser siempre un valor positivo, lo que indica que la ola nunca golpea la cubierta.

En la *tabla B.I a B.XV* del Anexo B, las dos últimas columnas, contienen en cada fila una formulación para obtener un puntaje y a partir de él, seleccionar el caso de estudio que minimiza todas las respuestas.

Para tal selección, se recurre a un procedimiento muy simple y sencillo, que es el cálculo de un puntaje a partir del valor ponderado de las variables de respuesta. A continuación, se describe el procedimiento.

Para cada caso de estudio se tabularon los valores de las respuestas máximas más probable de cada variable.

Para cada variable de respuesta, se ordenan sus valores de menor a mayor.

Ya ordenados los valores, se le asigna un número consecutivo, es decir, al valor menor se le asigna el número 1 y así sucesivamente, hasta llegar al valor mayor, al cual se le asigna el número 729. Para el caso del air gap se ordena de forma inversa, de mayor a menor, y al valor mayor se le asigna el número 1 y al menor el número 729.

Una vez que todos los valores de las variables de respuesta tienen asignado un número, se calcula el puntaje para cada caso de estudio.

Se procede con el cálculo del puntaje ponderado. Para esto, se tiene que calcular el valor ponderado de cada tipo de variable de respuesta, es decir, dado que tenemos 21 variables de respuesta, donde hay 3 de movimiento (*arfada, balanceo, cabeceo*), 4 de fuerza ($M_{X(FYZ)}$, $M_{Y(FYZ)}$, $M_{X(FXZ)}$, $M_{Y(FXZ)}$), 3 de aceleraciones (Acc_X , Acc_Y , Acc_Z), 10 de distancia ($AGIW_{P1}$, $AGIW_{P2}$, $AGIW_{P3}$, $AGIW_{P4}$, $AGIW_{P5}$, $AGTW_{P1}$, $AGTW_{P2}$, $AGTW_{P3}$, $AGTW_{P4}$, $AGTW_{P5}$) y un requisito de cumplimiento (*estabilidad*), estas se agrupan por tipo y se obtiene un valor promedio.

Para el caso del requisito de cumplimiento, la estabilidad, si el caso de estudio cumplió con los requisitos normativos de acuerdo con MODU, se le asigna el valor de 1, en caso contrario el valor es 0. Este valor multiplica el puntaje ponderado, si no se cumplió con los requisitos de estabilidad el puntaje total del caso de estudios es cero, lo que significa que la configuración geométrica del casco no es funcional como sistema flotante.

De acuerdo con lo descrito en los párrafos anteriores, el cálculo del puntaje ponderado se puede escribir de la siguiente forma.

$$P_p = F_{estabilidad} * \left[\frac{V_p}{N_p} \right]$$

$$V_p = \left[\begin{array}{l} V_{ARFADA} + \left(\frac{V_{BALANCEO} + V_{CABECEO}}{2} \right) + \left(\frac{V_{Acc_X} + V_{Acc_Y}}{2} \right) + V_{Acc_Z} + \left(\frac{\left(\frac{V_{M_{X(FYZ)}} + V_{M_{Y(FYZ)}}}{2} + \frac{V_{M_{X(FXZ)}} + V_{M_{Y(FXZ)}}}{2} \right)}{2} \right) \\ + \left(\frac{V_{AGIW_{P1}} + V_{AGTW_{P1}}}{2} + \frac{V_{AGIW_{P2}} + V_{AGTW_{P2}}}{2} + \frac{V_{AGIW_{P3}} + V_{AGTW_{P3}}}{2} + \frac{V_{AGIW_{P4}} + V_{AGTW_{P4}}}{2} + \frac{V_{AGIW_{P5}} + V_{AGTW_{P5}}}{2} \right) \end{array} \right] \frac{1}{5}$$

donde,

- P_p es el puntaje ponderado
- $F_{estabilidad}$ es el factor de cumplimiento de los requisitos de estabilidad (1=cumple, 0=no cumple).
- V_p es el valor calculado de la suma de las variables ponderadas.
- $N_p = 6$, es el número de variables ponderadas.

Con este criterio, se obtiene un puntaje para cada caso de estudio. Los valores obtenidos del puntaje nuevamente se ordenan de menor a mayor. El valor menor corresponde al caso de estudio que tienen el mejor comportamiento de manera global minimizando el mayor número de respuestas máximas más probables.

En la *tabla B.1 a B.XV* del Anexo B, están resaltadas en color amarillo los primeros 5 casos de estudio que tienen los valores de puntaje ponderado más bajo y en la *tabla 5.6* se resumen el lugar que ocupan minimizando la respuesta global del sistema.

Tabla 5.6 Casos de estudio que minimizan la respuesta global.

Lugar	Usando puntaje ponderado
1º	CE165
2º	CE408
3º	CE192
4º	CE168
5º	CE435

De todos los casos de estudio analizados, el modelo número 165, es el que mejor minimiza los valores más probables de las respuestas máximas o el que mejor minimiza la respuesta máxima global.

Los datos geométricos del casco del caso de estudio seleccionado son:

- Separación de columnas = 60 m
- Altura del casco = 50 m
- Ancho de columna = 16 m
- Ancho del pontón = 12.8 m
- Alto del pontón = 7.68 m
- Altura de calado = 27.50 m

Con el procedimiento descrito, es posible determinar, de manera relativamente rápida, un diseño conceptual o el prediseño de la configuración geometría del casco de un SFP e inclusive, se podría cotizar el peso del acero principal para tener un costo aproximado del SFP tipo semisumergible.

Respecto al peso, puede resultar que varias configuraciones geométricas arrojen respuestas mínimas ver Tabla 5.7, si fuera el caso, el peso podría ser la variable que determine la selección del caso de estudio, dado que desde el punto de vista económico o de costos, la de menor peso sería la más conveniente. En la tabla 5.7, se puede observar que el caso CE168, podría ser seleccionado, a pesar de estar en la posición 4, dado que es el segundo que tiene el menor peso tanto del casco como de la estructura completa.

Tabla 5.7 El peso como variable para selección del caso de estudio.

Lugar	Selección con puntaje ponderado	Peso del Casco W_H (ton)	Peso de cubiertas + Equipo W_{D+E} (ton)	Peso Total de la Semisumergible W_{TS} (ton)
1º	CE165	19941	14838	34779
2º	CE408	21225	19069	40294
3º	CE192	24916	15642	40558
4º	CE168	21078	14838	35916
5º	CE435	26553	19979	46532

Capítulo 6

6. Conclusiones

6.1 Conclusiones

El trabajo desarrollado hasta el capítulo anterior cumplió con los objetivos planteados en esta tesis. Se determinaron las variables paramétricas que rigen el diseño de un casco de un SFP tipo semisumergible y se aplicó un procedimiento de optimización mediante la ayuda de herramientas computacionales generadas para obtener la configuración geométrica que mejor minimiza el mayor número de las máximas respuestas. Lo que se explica de manera detallada en los siguientes párrafos.

Para determinar cuáles fueron los valores mínimos de las respuestas máximas más probables de cada variable considerada de los casos de estudio analizados, primeramente, se estableció el procedimiento a seguir para optimizar el diseño de un casco de un SFP tipo semisumergible (ver figura 4.1).

Determinado el procedimiento, se identificó por medio de la investigación bibliográfica, las variables que rigen o gobiernan el diseño del casco de un SFP tipo semisumergible (ver figura 4.2).

Seleccionadas las variables o parámetros de diseño del casco, se desarrollaron herramientas computacionales que ayudaron a la construcción paramétrica de múltiples modelos. Así mismo, se desarrollaron herramientas subsecuentes, para generar archivos que son necesarios para los análisis de estabilidad, análisis hidrodinámicos, procesamiento de los resultados y para extraer las respuestas máximas más probables de cada variable para los casos de estudio (ver Anexo B) todo estos análisis se realizaron en segundo plano (back-up).

En la sección 5.2 se realizó un análisis de los resultados a través de graficas de los valores más probables de las respuestas máximas de cada variable para los casos de estudio. A partir de ahí se analizó la influencia de cada una de las variables paramétricas para cada variable de respuesta. En la tabla 5.3 se resume el comportamiento de las variables de repuesta, cuando se varían las variables paramétricas de un valor mínimo a un valor máximo.

Del estudio de los parámetros que se emplearon para caracterizar la construcción del casco de un SFP tipo semisumergible, se concluye que la influencia del parámetro en la minimización de la respuesta hidrodinámica es en el siguiente orden:

1. Calado (H_{Draft}).
2. Altura del casco (H_{casco}).
3. Separación entre columnas ($S_{columnas}$).
4. Ancho del pontón ($B_{pontón}$).
5. Alto del pontón ($H_{pontón}$).
6. Ancho de la columna ($B_{columna}$).

Se terminó con un cálculo matemático simple para determinar cuál modelo o caso de estudio (configuración geométrica del casco) minimiza de manera global el mayor número de máximas respuestas de cada variable estudiada. En la tabla 5.6 se muestran los cinco modelos que mejor minimizan las respuestas máximas más probables.

Para reforzar la selección del caso de estudio, se ayudó con el valor del peso calculado durante el análisis de estabilidad, casualmente el peso del modelo seleccionado resultó ser el menor de los que más minimizan las respuestas.

De los casos de estudio que mejor minimizaron las máximas respuestas, se observó que siempre se presentaron las siguientes características:

- Separación mínima entre columnas.
- Máxima altura del casco.
- Máximo calado.
- Dimensiones mínimas de la columna y el pontón.

Por lo tanto, se podría decir que un SFP tipo semisumergible, que cumpla con las características mencionadas, garantizará que minimizará las máximas respuestas, aunque no se debe ser concluyente, lo mejor es realizar el proceso de optimización propuesto.

Por otro lado, las herramientas computacionales desarrolladas, cumplen con uno de los objetivos planteados: el de la optimización del proceso del diseño conceptual de un casco de un SFP tipo semisumergible. Estas herramientas coadyuvaron a reducir los tiempos de ejecución de la metodología de optimización propuesta, lo que permitió realizar un número amplio de casos de estudio para el análisis paramétrico de las variables que rigen el diseño y con los resultados obtenidos, se pudo elegir la mejor configuración geométrica del casco que minimiza el mayor número de respuestas estudiadas.

Para finalizar, se puede concluir que las herramientas computacionales generadas, podrán utilizarse en un futuro para el desarrollo de proyectos conceptuales de diseño de sistemas flotantes de producción tipo semisumergible; se podrá garantizar una estimación del peso del acero del 90%, que ayudará a obtener cotizaciones aproximadas del costo real de construcción y lo que se debe resaltar, es que se ahorrará hasta un 80% del tiempo que normalmente se utilizaría con los métodos tradicionales.

6.2 Recomendaciones

En el presente trabajo de investigación, con el fin de simplificar y reducir tiempos de análisis y volumen de información, se establecieron algunas variables, que bien pudieron ser un parámetro de estudio, como algunos datos de insumo o algunas constantes.

Por ejemplo, la configuración geométrica en planta del casco se consideró simétrica (cuadrada), con el fin de reducir las direcciones de análisis. Lo mismo con la sección transversal de las columnas del casco (también cuadrada). Un parámetro importante que se consideró fijo fue el radio de curvatura tanto de las columnas como de los pontones. Esto redujo el número de casos de estudio. Otra parte de la configuración del casco que se mantuvo fijo fue el tipo de conexión de la columna con el pontón (dado).

La variable que se consideró como insumo, fue la masa o el peso de equipo en cubierta, la cual, se consideró concentrada y en el centro geométrico en planta a una altura de 10 m del nivel de cubierta. Los modelos o casos de estudio se construyeron considerando dos cubiertas, con una densidad por metro cuadrado para la cubierta de servicio y otra para la cubierta principal. También se excluyeron las excentricidades del centro de gravedad.

Los estados de mar se limitaron a una porción del contorno de peligro ambiental, la más representativa del sitio y para un periodo de retorno, con esto, se redujo el número y condiciones de análisis.

Con lo dicho anteriormente, se pueden justificar trabajos futuros en esta línea de investigación, considerando más opciones de estudio, como cascos no simétricos (rectangulares o triangulares), columnas circulares o rectangulares, diferentes tipos de conexión columna-pontón, variación en los radios de curvatura de los elementos del casco, variación de la masas y excentricidades del centro de masas, más condiciones de análisis con contornos de peligro completos y diferentes periodos de retorno, mayor número de direcciones de análisis. Considerar en los análisis de estabilidad e hidrodinámicos la condición de daño.

Otra parte importante para considerar en la optimización de la respuesta es minimizar el peso de la semisumergible, ya que los costos de construcción están directamente relacionados con el peso de la estructura.

Para terminar, el proyecto de investigación desarrollado dentro del Instituto Mexicano de Petróleo y en el cual se fundamentó este trabajo de tesis, consideraba pruebas de modelos a escala en tanque oceánico, que por motivos de logística y costos no se han llevado a cabo, por lo que está pendiente la validación numérica con las pruebas experimentales.

Referencias

7. Referencias

- American Bureau of Shipping (1989). *ABS Rules for building and classing: mobile offshore drilling units and the 1989 IMO MODU CODE*, 1998.
- American Bureau of Shipping (1997). *Rules for building and Classing offshore installations*, 1997.
- American Bureau of Shipping (2007). *ABS, Guide for building and classing: Floating production installations*, 2008.
- American Bureau of Shipping (2016). *Mobile offshore drilling units, part 3 hull construction and equipment*, 2016.
- American Petroleum Institute, (2001). *API-RP-2FPS, Recommended practice for planning, designing and constructing floating production systems*. First edition, 2001.
- American Petroleum Institute, (2005). *API-RP-2SK, Design and analysis of stationkeeping system for floating structures*, 2005.
- American Petroleum Institute, (2015). *API-RP-2T, Planning, designing, and constructing tension leg platforms*. Third edition, July 2010. 2015.
- Amundsen, A. (2015). *Semi design-estimation of hull dimensions*. Master's Thesis. University of Stavanger.
- Aubault, A; Cermelli, C. y Roddier, D. (2007). *Parametric optimization of a semi-submersible platform with heave plates*. OMAE2007-29391.
- Chen, H. y Uddin, M. (2013). *Optimization of a floating platform design*. Master's Thesis. Chalmers University of Technology.
- Chakrabarti, S. K. (1987). *Hydrodynamics of offshore structures*. Great Britany: Henry Ling Ltd.
- Comstock, J. P. (1967). *Principles of Naval Architecture*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd (2015). *DNVGL-OS-C201, Structural design of offshore units (WSD Method)*, edition april, 2016.
- Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd (2015). *DNVGL-OS-C103, Structural design of column stabilised units (LRFD Method)*, edition july, 2015.
- Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd (20015). *DNVGL-OS-C301, Stability and watertight integrity*, edition july, 2015.

- Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd (2015). *DNVGL-RP-C103, Column stabilised units*, edition july, 2015.
- Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd (2011). *DNVGL-RP-H103, Modeling and Analysis of Marine Operations*, edition april, 2011.
- Faltinsen, O. M. (1990). *Sea loads on ships and offshore structures*. Cambridge University.
- Falzarano, J; Cheng, J. y Das, S. (2003). *Parametric excitation of floating offshore platforms*. 8th International Conference on the Stability of Ships and Oceans Vehicles, STAB-2003.
- Germanischer Lloyd (2007). *GL, Rules for Classification and construction, IV Industrial service*, 6 Offshore technology, 2 Mobile offshore units, edition 2007.
- Gerwick, B. C. Jr. (2007). *Construction of marine and offshore structures*. Third edition. New York: CRC Press.
- Greenpeace (2010). *COP16/CMP6. La Cumbre de México. Exploración en aguas profundas del Golfo de México*, Hoja Informativa, Agosto 2010. http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/9/fs_petroleo-aguas-profundas.pdf
- Harrington, R. L (1992). *Marine engineering*. New Jersey: The Society of Naval Architect sand Marine Engineers.
- Health y Safety Executive (2006). *HSE. Review of issue associated with the stability of semi-submersibles*, research report 473, 2006.
- International Association of Classification Societies LTD. (2012). *IACS, Requirements concerning mobile offshore drilling units*.
- International Ship and Offshore Structures Congress (2009). *ISSC Floating production systems*, Vol. 2, 2009.
- Lewis, E. V. (1988). *Principles of naval architecture, Vol. 1 Stabily & Strength. Second Revision*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Mather, A. (2000). *Offshore engineering, an introduction*. Second Edition. Wither by Publisher.
- Mao, H. y Yang, H (2016). *Parametric pitch instability investigation of deep draft semi-submersibles platform in irregular waves*. IJNAOE 2016-13-21.
- Mercier, R. (2018) Notes of course: Fundamentals of Dynamics and Wave Mechanics, Instituto Mexicano del Petróleo.
- Miao, S. (2013). *Design of Miniature Floating Platform for Marginal Field*. Master's Thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- Mobile Offshore Drilling Units (2009). *MODU Code for the construction and equipment of mobile offshore drilling units*. Resolution A.1023, 2009.
- Muthuchelvi, K. y Vivek, K. (2015). *Effects of volume fraction on heave motion of semi-submersible*. 2nd ICSTM-2015, 978-81-931039-6-8.

- Research Partnership to Secure Energy for America (2015). *Vortex induced motion study for deep draft column stabilized floaters*.
- Rise, J. (2013). *Hull dimension of a semi-submersible rig, a parametric optimization approach*. Master's Thesis. Norwegian University of Science and Technology.
- Sharma, R; Kim, T-W; Sha, O.P. y Misra S.C. (2013). *Issues in offshore platform research part 1: Semi-submersibles*. IJNAOE-2013-0032
- Texas A&M University (2009). *Design of a semi-submersible production and drilling facility for the Gulf of Mexico*. OCEAN 407- Design of ocean engineering facilities, Ocean Engineering Program, 2009.
- Wilson, J. E. (2003). *Dynamics of offshore structures*. United States of America: SA: Jhon Wiley & Sons.

Anexo A. Casos de estudio.

En las siguientes tablas, de la A.I a la A.IV, se muestran la dimensiones de las variables paramétricas con las que se generaron las configuraciones geométricas de los cascos de los casos de estudio

Las tablas incluyen los siguientes datos:

Columna	Id.	Descripción
1	No.	Número de caso de estudio
2	Caso	Identificación del caso de estudio
3	S_{col} (m)	Separación entre columnas medido en metros
4	H_{hull} (m)	Altura del casco medido en metros
5	B_{col} (m)	Ancho de la columna cuadrada medido en metros
6	B_{pont} (m)	Ancho del pontón medido en metros
7	A_{pont} (m)	Alto del pontón medido en metros
8	H_{Cal} (m)	Altura de calado medido en metros

Tabla A.I. Casos de estudio propuestos del 1 al 210.

No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)	No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)	No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)
1	CE1	60	40	16	12.80	7.68	18.00	71	CE71	60	40	20	18.00	14.40	20.00	141	CE141	60	45	20	16.00	11.20	24.75
2	CE2	60	40	16	12.80	7.68	20.00	72	CE72	60	40	20	18.00	14.40	22.00	142	CE142	60	45	20	16.00	12.80	20.25
3	CE3	60	40	16	12.80	7.68	22.00	73	CE73	60	40	20	20.00	12.00	18.00	143	CE143	60	45	20	16.00	12.80	22.50
4	CE4	60	40	16	12.80	8.96	18.00	74	CE74	60	40	20	20.00	12.00	20.00	144	CE144	60	45	20	16.00	12.80	24.75
5	CE5	60	40	16	12.80	8.96	20.00	75	CE75	60	40	20	20.00	12.00	22.00	145	CE145	60	45	20	18.00	10.80	20.25
6	CE6	60	40	16	12.80	8.96	22.00	76	CE76	60	40	20	20.00	14.00	18.00	146	CE146	60	45	20	18.00	10.80	22.50
7	CE7	60	40	16	12.80	10.24	18.00	77	CE77	60	40	20	20.00	14.00	20.00	147	CE147	60	45	20	18.00	10.80	24.75
8	CE8	60	40	16	12.80	10.24	20.00	78	CE78	60	40	20	20.00	14.00	22.00	148	CE148	60	45	20	18.00	12.60	20.25
9	CE9	60	40	16	12.80	10.24	22.00	79	CE79	60	40	20	20.00	16.00	18.00	149	CE149	60	45	20	18.00	12.60	22.50
10	CE10	60	40	16	14.40	8.64	18.00	80	CE80	60	40	20	20.00	16.00	20.00	150	CE150	60	45	20	18.00	12.60	24.75
11	CE11	60	40	16	14.40	8.64	20.00	81	CE81	60	40	20	20.00	16.00	22.00	151	CE151	60	45	20	18.00	14.40	20.25
12	CE12	60	40	16	14.40	8.64	22.00	82	CE82	60	45	16	12.80	7.68	20.25	152	CE152	60	45	20	18.00	14.40	22.50
13	CE13	60	40	16	14.40	10.08	18.00	83	CE83	60	45	16	12.80	7.68	22.50	153	CE153	60	45	20	18.00	14.40	24.75
14	CE14	60	40	16	14.40	10.08	20.00	84	CE84	60	45	16	12.80	7.68	24.75	154	CE154	60	45	20	20.00	12.00	20.25
15	CE15	60	40	16	14.40	10.08	22.00	85	CE85	60	45	16	12.80	8.96	20.25	155	CE155	60	45	20	20.00	12.00	22.50
16	CE16	60	40	16	14.40	11.52	18.00	86	CE86	60	45	16	12.80	8.96	22.50	156	CE156	60	45	20	20.00	12.00	24.75
17	CE17	60	40	16	14.40	11.52	20.00	87	CE87	60	45	16	12.80	8.96	24.75	157	CE157	60	45	20	20.00	14.00	20.25
18	CE18	60	40	16	14.40	11.52	22.00	88	CE88	60	45	16	12.80	10.24	20.25	158	CE158	60	45	20	20.00	14.00	22.50
19	CE19	60	40	16	16.00	9.60	18.00	89	CE89	60	45	16	12.80	10.24	22.50	159	CE159	60	45	20	20.00	14.00	24.75
20	CE20	60	40	16	16.00	9.60	20.00	90	CE90	60	45	16	12.80	10.24	24.75	160	CE160	60	45	20	20.00	16.00	20.25
21	CE21	60	40	16	16.00	9.60	22.00	91	CE91	60	45	16	14.40	8.64	20.25	161	CE161	60	45	20	20.00	16.00	22.50
22	CE22	60	40	16	16.00	11.20	18.00	92	CE92	60	45	16	14.40	8.64	22.50	162	CE162	60	45	20	20.00	16.00	24.75
23	CE23	60	40	16	16.00	11.20	20.00	93	CE93	60	45	16	14.40	8.64	24.75	163	CE163	60	50	16	12.80	7.68	22.50
24	CE24	60	40	16	16.00	11.20	22.00	94	CE94	60	45	16	14.40	10.08	20.25	164	CE164	60	50	16	12.80	7.68	25.00
25	CE25	60	40	16	16.00	12.80	18.00	95	CE95	60	45	16	14.40	10.08	22.50	165	CE165	60	50	16	12.80	7.68	27.50
26	CE26	60	40	16	16.00	12.80	20.00	96	CE96	60	45	16	14.40	10.08	24.75	166	CE166	60	50	16	12.80	8.96	22.50
27	CE27	60	40	16	16.00	12.80	22.00	97	CE97	60	45	16	14.40	11.52	20.25	167	CE167	60	50	16	12.80	8.96	25.00
28	CE28	60	40	18	14.40	8.64	18.00	98	CE98	60	45	16	14.40	11.52	22.50	168	CE168	60	50	16	12.80	8.96	27.50
29	CE29	60	40	18	14.40	8.64	20.00	99	CE99	60	45	16	14.40	11.52	24.75	169	CE169	60	50	16	12.80	10.24	22.50
30	CE30	60	40	18	14.40	8.64	22.00	100	CE100	60	45	16	16.00	9.60	20.25	170	CE170	60	50	16	12.80	10.24	25.00
31	CE31	60	40	18	14.40	10.08	18.00	101	CE101	60	45	16	16.00	9.60	22.50	171	CE171	60	50	16	12.80	10.24	27.50
32	CE32	60	40	18	14.40	10.08	20.00	102	CE102	60	45	16	16.00	9.60	24.75	172	CE172	60	50	16	14.40	8.64	22.50
33	CE33	60	40	18	14.40	10.08	22.00	103	CE103	60	45	16	16.00	11.20	20.25	173	CE173	60	50	16	14.40	8.64	25.00
34	CE34	60	40	18	14.40	11.52	18.00	104	CE104	60	45	16	16.00	11.20	22.50	174	CE174	60	50	16	14.40	8.64	27.50
35	CE35	60	40	18	14.40	11.52	20.00	105	CE105	60	45	16	16.00	11.20	24.75	175	CE175	60	50	16	14.40	10.08	22.50
36	CE36	60	40	18	14.40	11.52	22.00	106	CE106	60	45	16	16.00	12.80	20.25	176	CE176	60	50	16	14.40	10.08	25.00
37	CE37	60	40	18	16.20	9.72	18.00	107	CE107	60	45	16	16.00	12.80	22.50	177	CE177	60	50	16	14.40	10.08	27.50
38	CE38	60	40	18	16.20	9.72	20.00	108	CE108	60	45	16	16.00	12.80	24.75	178	CE178	60	50	16	14.40	11.52	22.50
39	CE39	60	40	18	16.20	9.72	22.00	109	CE109	60	45	18	14.40	8.64	20.25	179	CE179	60	50	16	14.40	11.52	25.00
40	CE40	60	40	18	16.20	11.34	18.00	110	CE110	60	45	18	14.40	8.64	22.50	180	CE180	60	50	16	14.40	11.52	27.50
41	CE41	60	40	18	16.20	11.34	20.00	111	CE111	60	45	18	14.40	8.64	24.75	181	CE181	60	50	16	16.00	9.60	22.50
42	CE42	60	40	18	16.20	11.34	22.00	112	CE112	60	45	18	14.40	10.08	20.25	182	CE182	60	50	16	16.00	9.60	25.00
43	CE43	60	40	18	16.20	12.96	18.00	113	CE113	60	45	18	14.40	10.08	22.50	183	CE183	60	50	16	16.00	9.60	27.50
44	CE44	60	40	18	16.20	12.96	20.00	114	CE114	60	45	18	14.40	10.08	24.75	184	CE184	60	50	16	16.00	11.20	22.50
45	CE45	60	40	18	16.20	12.96	22.00	115	CE115	60	45	18	14.40	11.52	20.25	185	CE185	60	50	16	16.00	11.20	25.00
46	CE46	60	40	18	18.00	10.80	18.00	116	CE116	60	45	18	14.40	11.52	22.50	186	CE186	60	50	16	16.00	11.20	27.50
47	CE47	60	40	18	18.00	10.80	20.00	117	CE117	60	45	18	14.40	11.52	24.75	187	CE187	60	50	16	16.00	12.80	22.50
48	CE48	60	40	18	18.00	10.80	22.00	118	CE118	60	45	18	16.20	9.72	20.25	188	CE188	60	50	16	16.00	12.80	25.00
49	CE49	60	40	18	18.00	12.60	18.00	119	CE119	60	45	18	16.20	9.72	22.50	189	CE189	60	50	16	16.00	12.80	27.50
50	CE50	60	40	18	18.00	12.60	20.00	120	CE120	60	45	18	16.20	9.72	24.75	190	CE190	60	50	18	14.40	8.64	22.50
51	CE51	60	40	18	18.00	12.60	22.00	121	CE121	60	45	18	16.20	11.34	20.25	191	CE191	60	50	18	14.40	8.64	25.00
52	CE52	60	40	18	18.00	14.40	18.00	122	CE122	60	45	18	16.20	11.34	22.50	192	CE192	60	50	18	14.40	8.64	27.50
53	CE53	60	40	18	18.00	14.40	20.00	123	CE123	60	45	18	16.20	11.34	24.75	193	CE193	60	50	18	14.40	10.08	22.50
54	CE54	60	40	18	18.00	14.40	22.00	124	CE124	60	45	18	16.20	12.96	20.25	194	CE194	60	50	18	14.40	10.08	25.00
55	CE55	60	40	20	16.00	9.60	18.00	125	CE125	60	45	18	16.20	12.96	22.50	195	CE195	60	50	18	14.40	10.08	27.50
56	CE56	60	40	20	16.00	9.60	20.00	126	CE126	60	45	18	16.20	12.96	24.75	196	CE196	60	50	18	14.40	11.52	22.50
57	CE57	60	40	20	16.00	9.60	22.00	127	CE127	60	45	18	18.00	10.80	20.25	197	CE197	60	50	18	14.40	11.52	25.00
58	CE58	60	40	20	16.00	11.20	18.00	128	CE128	60	45	18	18.00	10.80	22.50	198	CE198	60	50	18	14.40	11.52	27.50
59	CE59	60	4																				

Tabla A.II. Casos de estudio propuestos del 211 al 420.

No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)	No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)	No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)
211	CE211	60	50	18	18.00	12.60	22.50	281	CE281	70	40	18	16.20	9.72	20.00	351	CE351	70	45	16	16.00	12.80	24.75
212	CE212	60	50	18	18.00	12.60	25.00	282	CE282	70	40	18	16.20	9.72	22.00	352	CE352	70	45	18	14.40	8.64	20.25
213	CE213	60	50	18	18.00	12.60	27.50	283	CE283	70	40	18	16.20	11.34	18.00	353	CE353	70	45	18	14.40	8.64	22.50
214	CE214	60	50	18	18.00	14.40	22.50	284	CE284	70	40	18	16.20	11.34	20.00	354	CE354	70	45	18	14.40	8.64	24.75
215	CE215	60	50	18	18.00	14.40	25.00	285	CE285	70	40	18	16.20	11.34	22.00	355	CE355	70	45	18	14.40	10.08	20.25
216	CE216	60	50	18	18.00	14.40	27.50	286	CE286	70	40	18	16.20	12.96	18.00	356	CE356	70	45	18	14.40	10.08	22.50
217	CE217	60	50	20	16.00	9.60	22.50	287	CE287	70	40	18	16.20	12.96	20.00	357	CE357	70	45	18	14.40	10.08	24.75
218	CE218	60	50	20	16.00	9.60	25.00	288	CE288	70	40	18	16.20	12.96	22.00	358	CE358	70	45	18	14.40	11.52	20.25
219	CE219	60	50	20	16.00	9.60	27.50	289	CE289	70	40	18	18.00	10.80	18.00	359	CE359	70	45	18	14.40	11.52	22.50
220	CE220	60	50	20	16.00	11.20	22.50	290	CE290	70	40	18	18.00	10.80	20.00	360	CE360	70	45	18	14.40	11.52	24.75
221	CE221	60	50	20	16.00	11.20	25.00	291	CE291	70	40	18	18.00	10.80	22.00	361	CE361	70	45	18	16.20	9.72	20.25
222	CE222	60	50	20	16.00	11.20	27.50	292	CE292	70	40	18	18.00	12.60	18.00	362	CE362	70	45	18	16.20	9.72	22.50
223	CE223	60	50	20	16.00	12.80	22.50	293	CE293	70	40	18	18.00	12.60	20.00	363	CE363	70	45	18	16.20	9.72	24.75
224	CE224	60	50	20	16.00	12.80	25.00	294	CE294	70	40	18	18.00	12.60	22.00	364	CE364	70	45	18	16.20	11.34	20.25
225	CE225	60	50	20	16.00	12.80	27.50	295	CE295	70	40	18	18.00	14.40	18.00	365	CE365	70	45	18	16.20	11.34	22.50
226	CE226	60	50	20	18.00	10.80	22.50	296	CE296	70	40	18	18.00	14.40	20.00	366	CE366	70	45	18	16.20	11.34	24.75
227	CE227	60	50	20	18.00	10.80	25.00	297	CE297	70	40	18	18.00	14.40	22.00	367	CE367	70	45	18	16.20	12.96	20.25
228	CE228	60	50	20	18.00	10.80	27.50	298	CE298	70	40	20	16.00	9.60	18.00	368	CE368	70	45	18	16.20	12.96	22.50
229	CE229	60	50	20	18.00	12.60	22.50	299	CE299	70	40	20	16.00	9.60	20.00	369	CE369	70	45	18	16.20	12.96	24.75
230	CE230	60	50	20	18.00	12.60	25.00	300	CE300	70	40	20	16.00	9.60	22.00	370	CE370	70	45	18	18.00	10.80	20.25
231	CE231	60	50	20	18.00	12.60	27.50	301	CE301	70	40	20	16.00	11.20	18.00	371	CE371	70	45	18	18.00	10.80	22.50
232	CE232	60	50	20	18.00	14.40	22.50	302	CE302	70	40	20	16.00	11.20	20.00	372	CE372	70	45	18	18.00	10.80	24.75
233	CE233	60	50	20	18.00	14.40	25.00	303	CE303	70	40	20	16.00	11.20	22.00	373	CE373	70	45	18	18.00	12.60	20.25
234	CE234	60	50	20	18.00	14.40	27.50	304	CE304	70	40	20	16.00	12.80	18.00	374	CE374	70	45	18	18.00	12.60	22.50
235	CE235	60	50	20	20.00	12.00	22.50	305	CE305	70	40	20	16.00	12.80	20.00	375	CE375	70	45	18	18.00	12.60	24.75
236	CE236	60	50	20	20.00	12.00	25.00	306	CE306	70	40	20	16.00	12.80	22.00	376	CE376	70	45	18	18.00	14.40	20.25
237	CE237	60	50	20	20.00	12.00	27.50	307	CE307	70	40	20	18.00	10.80	18.00	377	CE377	70	45	18	18.00	14.40	22.50
238	CE238	60	50	20	20.00	14.00	22.50	308	CE308	70	40	20	18.00	10.80	20.00	378	CE378	70	45	18	18.00	14.40	24.75
239	CE239	60	50	20	20.00	14.00	25.00	309	CE309	70	40	20	18.00	10.80	22.00	379	CE379	70	45	20	16.00	9.60	20.25
240	CE240	60	50	20	20.00	14.00	27.50	310	CE310	70	40	20	18.00	12.60	18.00	380	CE380	70	45	20	16.00	9.60	22.50
241	CE241	60	50	20	20.00	16.00	22.50	311	CE311	70	40	20	18.00	12.60	20.00	381	CE381	70	45	20	16.00	9.60	24.75
242	CE242	60	50	20	20.00	16.00	25.00	312	CE312	70	40	20	18.00	12.60	22.00	382	CE382	70	45	20	16.00	11.20	20.25
243	CE243	60	50	20	20.00	16.00	27.50	313	CE313	70	40	20	18.00	14.40	18.00	383	CE383	70	45	20	16.00	11.20	22.50
244	CE244	70	40	16	12.80	7.68	18.00	314	CE314	70	40	20	18.00	14.40	20.00	384	CE384	70	45	20	16.00	11.20	24.75
245	CE245	70	40	16	12.80	7.68	20.00	315	CE315	70	40	20	18.00	14.40	22.00	385	CE385	70	45	20	16.00	12.80	20.25
246	CE246	70	40	16	12.80	7.68	22.00	316	CE316	70	40	20	20.00	12.00	18.00	386	CE386	70	45	20	16.00	12.80	22.50
247	CE247	70	40	16	12.80	8.96	18.00	317	CE317	70	40	20	20.00	12.00	20.00	387	CE387	70	45	20	16.00	12.80	24.75
248	CE248	70	40	16	12.80	8.96	20.00	318	CE318	70	40	20	20.00	12.00	22.00	388	CE388	70	45	20	18.00	10.80	20.25
249	CE249	70	40	16	12.80	8.96	22.00	319	CE319	70	40	20	20.00	14.00	18.00	389	CE389	70	45	20	18.00	10.80	22.50
250	CE250	70	40	16	12.80	10.24	18.00	320	CE320	70	40	20	20.00	14.00	20.00	390	CE390	70	45	20	18.00	10.80	24.75
251	CE251	70	40	16	12.80	10.24	20.00	321	CE321	70	40	20	20.00	14.00	22.00	391	CE391	70	45	20	18.00	12.60	20.25
252	CE252	70	40	16	12.80	10.24	22.00	322	CE322	70	40	20	20.00	16.00	18.00	392	CE392	70	45	20	18.00	12.60	22.50
253	CE253	70	40	16	14.40	8.64	18.00	323	CE323	70	40	20	20.00	16.00	20.00	393	CE393	70	45	20	18.00	12.60	24.75
254	CE254	70	40	16	14.40	8.64	20.00	324	CE324	70	40	20	20.00	16.00	22.00	394	CE394	70	45	20	18.00	14.40	20.25
255	CE255	70	40	16	14.40	8.64	22.00	325	CE325	70	45	16	12.80	7.68	20.25	395	CE395	70	45	20	18.00	14.40	22.50
256	CE256	70	40	16	14.40	10.08	18.00	326	CE326	70	45	16	12.80	7.68	22.50	396	CE396	70	45	20	18.00	14.40	24.75
257	CE257	70	40	16	14.40	10.08	20.00	327	CE327	70	45	16	12.80	7.68	24.75	397	CE397	70	45	20	20.00	12.00	20.25
258	CE258	70	40	16	14.40	10.08	22.00	328	CE328	70	45	16	12.80	8.96	20.25	398	CE398	70	45	20	20.00	12.00	22.50
259	CE259	70	40	16	14.40	11.52	18.00	329	CE329	70	45	16	12.80	8.96	22.50	399	CE399	70	45	20	20.00	12.00	24.75
260	CE260	70	40	16	14.40	11.52	20.00	330	CE330	70	45	16	12.80	8.96	24.75	400	CE400	70	45	20	20.00	14.00	20.25
261	CE261	70	40	16	14.40	11.52	22.00	331	CE331	70	45	16	12.80	10.24	20.25	401	CE401	70	45	20	20.00	14.00	22.50
262	CE262	70	40	16	16.00	9.60	18.00	332	CE332	70	45	16	12.80	10.24	22.50	402	CE402	70	45	20	20.00	14.00	24.75
263	CE263	70	40	16	16.00	9.60	20.00	333	CE333	70	45	16	12.80	10.24	24.75	403	CE403	70	45	20	20.00	16.00	20.25
264	CE264	70	40	16	16.00	9.60	22.00	334	CE334	70	45	16	14.40	8.64	20.25	404	CE404	70	45	20	20.00	16.00	22.50
265	CE265	70	40	16	16.00	11.20	18.00	335	CE335	70	45	16	14.40	8.64	22.50	405	CE405	70	45	20	20.00	16.00	24.75
266	CE266	70	40	16	16.00	11.20	20.00	336	CE336	70	45	16	14.40	8.64	24.75	406	CE406	70	50	16	12.80	7.68	22.50
267	CE267	70	40	16	16.00	11.20	22.00	337	CE337	70	45	16	14.40	10.08	20.25	407	CE407	70	50	16	12.80	7.68	25

Tabla A.III. Casos de estudio propuestos del 421 al 630.

No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)	No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)	No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)
421	CE421	70	50	16	14.40	11.52	22.50	491	CE491	80	40	16	12.80	8.96	20.00	561	CE561	80	40	20	20.00	12.00	22.00
422	CE422	70	50	16	14.40	11.52	25.00	492	CE492	80	40	16	12.80	8.96	22.00	562	CE562	80	40	20	20.00	14.00	18.00
423	CE423	70	50	16	14.40	11.52	27.50	493	CE493	80	40	16	12.80	10.24	18.00	563	CE563	80	40	20	20.00	14.00	20.00
424	CE424	70	50	16	16.00	9.60	22.50	494	CE494	80	40	16	12.80	10.24	20.00	564	CE564	80	40	20	20.00	14.00	22.00
425	CE425	70	50	16	16.00	9.60	25.00	495	CE495	80	40	16	12.80	10.24	22.00	565	CE565	80	40	20	20.00	16.00	18.00
426	CE426	70	50	16	16.00	9.60	27.50	496	CE496	80	40	16	14.40	8.64	18.00	566	CE566	80	40	20	20.00	16.00	20.00
427	CE427	70	50	16	16.00	11.20	22.50	497	CE497	80	40	16	14.40	8.64	20.00	567	CE567	80	40	20	20.00	16.00	22.00
428	CE428	70	50	16	16.00	11.20	25.00	498	CE498	80	40	16	14.40	8.64	22.00	568	CE568	80	45	16	12.80	7.68	20.25
429	CE429	70	50	16	16.00	11.20	27.50	499	CE499	80	40	16	14.40	10.08	18.00	569	CE569	80	45	16	12.80	7.68	22.50
430	CE430	70	50	16	16.00	12.80	22.50	500	CE500	80	40	16	14.40	10.08	20.00	570	CE570	80	45	16	12.80	7.68	24.75
431	CE431	70	50	16	16.00	12.80	25.00	501	CE501	80	40	16	14.40	10.08	22.00	571	CE571	80	45	16	12.80	8.96	20.25
432	CE432	70	50	16	16.00	12.80	27.50	502	CE502	80	40	16	14.40	11.52	18.00	572	CE572	80	45	16	12.80	8.96	22.50
433	CE433	70	50	18	14.40	8.64	22.50	503	CE503	80	40	16	14.40	11.52	20.00	573	CE573	80	45	16	12.80	8.96	24.75
434	CE434	70	50	18	14.40	8.64	25.00	504	CE504	80	40	16	14.40	11.52	22.00	574	CE574	80	45	16	12.80	10.24	20.25
435	CE435	70	50	18	14.40	8.64	27.50	505	CE505	80	40	16	16.00	9.60	18.00	575	CE575	80	45	16	12.80	10.24	22.50
436	CE436	70	50	18	14.40	10.08	22.50	506	CE506	80	40	16	16.00	9.60	20.00	576	CE576	80	45	16	12.80	10.24	24.75
437	CE437	70	50	18	14.40	10.08	25.00	507	CE507	80	40	16	16.00	9.60	22.00	577	CE577	80	45	16	14.40	8.64	20.25
438	CE438	70	50	18	14.40	10.08	27.50	508	CE508	80	40	16	16.00	11.20	18.00	578	CE578	80	45	16	14.40	8.64	22.50
439	CE439	70	50	18	14.40	11.52	22.50	509	CE509	80	40	16	16.00	11.20	20.00	579	CE579	80	45	16	14.40	8.64	24.75
440	CE440	70	50	18	14.40	11.52	25.00	510	CE510	80	40	16	16.00	11.20	22.00	580	CE580	80	45	16	14.40	10.08	20.25
441	CE441	70	50	18	14.40	11.52	27.50	511	CE511	80	40	16	16.00	12.80	18.00	581	CE581	80	45	16	14.40	10.08	22.50
442	CE442	70	50	18	16.20	9.72	22.50	512	CE512	80	40	16	16.00	12.80	20.00	582	CE582	80	45	16	14.40	10.08	24.75
443	CE443	70	50	18	16.20	9.72	25.00	513	CE513	80	40	16	16.00	12.80	22.00	583	CE583	80	45	16	14.40	11.52	20.25
444	CE444	70	50	18	16.20	9.72	27.50	514	CE514	80	40	18	14.40	8.64	18.00	584	CE584	80	45	16	14.40	11.52	22.50
445	CE445	70	50	18	16.20	11.34	22.50	515	CE515	80	40	18	14.40	8.64	20.00	585	CE585	80	45	16	14.40	11.52	24.75
446	CE446	70	50	18	16.20	11.34	25.00	516	CE516	80	40	18	14.40	8.64	22.00	586	CE586	80	45	16	16.00	9.60	20.25
447	CE447	70	50	18	16.20	11.34	27.50	517	CE517	80	40	18	14.40	10.08	18.00	587	CE587	80	45	16	16.00	9.60	22.50
448	CE448	70	50	18	16.20	12.96	22.50	518	CE518	80	40	18	14.40	10.08	20.00	588	CE588	80	45	16	16.00	9.60	24.75
449	CE449	70	50	18	16.20	12.96	25.00	519	CE519	80	40	18	14.40	10.08	22.00	589	CE589	80	45	16	16.00	11.20	20.25
450	CE450	70	50	18	16.20	12.96	27.50	520	CE520	80	40	18	14.40	11.52	18.00	590	CE590	80	45	16	16.00	11.20	22.50
451	CE451	70	50	18	18.00	10.80	22.50	521	CE521	80	40	18	14.40	11.52	20.00	591	CE591	80	45	16	16.00	11.20	24.75
452	CE452	70	50	18	18.00	10.80	25.00	522	CE522	80	40	18	14.40	11.52	22.00	592	CE592	80	45	16	16.00	12.80	20.25
453	CE453	70	50	18	18.00	10.80	27.50	523	CE523	80	40	18	16.20	9.72	18.00	593	CE593	80	45	16	16.00	12.80	22.50
454	CE454	70	50	18	18.00	12.60	22.50	524	CE524	80	40	18	16.20	9.72	20.00	594	CE594	80	45	16	16.00	12.80	24.75
455	CE455	70	50	18	18.00	12.60	25.00	525	CE525	80	40	18	16.20	9.72	22.00	595	CE595	80	45	18	14.40	8.64	20.25
456	CE456	70	50	18	18.00	12.60	27.50	526	CE526	80	40	18	16.20	11.34	18.00	596	CE596	80	45	18	14.40	8.64	22.50
457	CE457	70	50	18	18.00	14.40	22.50	527	CE527	80	40	18	16.20	11.34	20.00	597	CE597	80	45	18	14.40	8.64	24.75
458	CE458	70	50	18	18.00	14.40	25.00	528	CE528	80	40	18	16.20	11.34	22.00	598	CE598	80	45	18	14.40	10.08	20.25
459	CE459	70	50	18	18.00	14.40	27.50	529	CE529	80	40	18	16.20	12.96	18.00	599	CE599	80	45	18	14.40	10.08	22.50
460	CE460	70	50	20	16.00	9.60	22.50	530	CE530	80	40	18	16.20	12.96	20.00	600	CE600	80	45	18	14.40	10.08	24.75
461	CE461	70	50	20	16.00	9.60	25.00	531	CE531	80	40	18	16.20	12.96	22.00	601	CE601	80	45	18	14.40	11.52	20.25
462	CE462	70	50	20	16.00	9.60	27.50	532	CE532	80	40	18	18.00	10.80	18.00	602	CE602	80	45	18	14.40	11.52	22.50
463	CE463	70	50	20	16.00	11.20	22.50	533	CE533	80	40	18	18.00	10.80	20.00	603	CE603	80	45	18	14.40	11.52	24.75
464	CE464	70	50	20	16.00	11.20	25.00	534	CE534	80	40	18	18.00	10.80	22.00	604	CE604	80	45	18	16.20	9.72	20.25
465	CE465	70	50	20	16.00	11.20	27.50	535	CE535	80	40	18	18.00	12.60	18.00	605	CE605	80	45	18	16.20	9.72	22.50
466	CE466	70	50	20	16.00	12.80	22.50	536	CE536	80	40	18	18.00	12.60	20.00	606	CE606	80	45	18	16.20	9.72	24.75
467	CE467	70	50	20	16.00	12.80	25.00	537	CE537	80	40	18	18.00	12.60	22.00	607	CE607	80	45	18	16.20	11.34	20.25
468	CE468	70	50	20	16.00	12.80	27.50	538	CE538	80	40	18	18.00	14.40	18.00	608	CE608	80	45	18	16.20	11.34	22.50
469	CE469	70	50	20	18.00	10.80	22.50	539	CE539	80	40	18	18.00	14.40	20.00	609	CE609	80	45	18	16.20	11.34	24.75
470	CE470	70	50	20	18.00	10.80	25.00	540	CE540	80	40	18	18.00	14.40	22.00	610	CE610	80	45	18	16.20	12.96	20.25
471	CE471	70	50	20	18.00	10.80	27.50	541	CE541	80	40	20	16.00	9.60	18.00	611	CE611	80	45	18	16.20	12.96	22.50
472	CE472	70	50	20	18.00	12.60	22.50	542	CE542	80	40	20	16.00	9.60	20.00	612	CE612	80	45	18	16.20	12.96	24.75
473	CE473	70	50	20	18.00	12.60	25.00	543	CE543	80	40	20	16.00	9.60	22.00	613	CE613	80	45	18	18.00	10.80	20.25
474	CE474	70	50	20	18.00	12.60	27.50	544	CE544	80	40	20	16.00	11.20	18.00	614	CE614	80	45	18	18.00	10.80	22.50
475	CE475	70	50	20	18.00	14.40	22.50	545	CE545	80	40	20	16.00	11.20	20.00	615	CE615	80	45	18	18.00	10.80	24.75
476	CE476	70	50	20	18.00	14.40	25.00	546	CE546	80	40	20	16.00	11.20	22.00	616	CE616	80	45	18	18.00	12.60	20.25
477	CE477	70	50	20	18.00	14.40	27.50	547	CE547	80	40	20	16.00	12.80	18.00	617	CE617	80	45	18	18.00	12.60	22.50

Tabla A.IV. Casos de estudio propuestos del 631 al 729.

No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{Col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)	No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{Col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)	No.	CASO	S _{col} (m)	H _{Hull} (m)	B _{Col} (m)	B _{Pont} (m)	A _{Pont} (m)	H _{cal} (m)
631	CE631	80	45	20	18.00	10.80	20.25	664	CE664	80	50	16	14.40	11.52	22.50	697	CE697	80	50	18	18.00	12.60	22.50
632	CE632	80	45	20	18.00	10.80	22.50	665	CE665	80	50	16	14.40	11.52	25.00	698	CE698	80	50	18	18.00	12.60	25.00
633	CE633	80	45	20	18.00	10.80	24.75	666	CE666	80	50	16	14.40	11.52	27.50	699	CE699	80	50	18	18.00	12.60	27.50
634	CE634	80	45	20	18.00	12.60	20.25	667	CE667	80	50	16	16.00	9.60	22.50	700	CE700	80	50	18	18.00	14.40	22.50
635	CE635	80	45	20	18.00	12.60	22.50	668	CE668	80	50	16	16.00	9.60	25.00	701	CE701	80	50	18	18.00	14.40	25.00
636	CE636	80	45	20	18.00	12.60	24.75	669	CE669	80	50	16	16.00	9.60	27.50	702	CE702	80	50	18	18.00	14.40	27.50
637	CE637	80	45	20	18.00	14.40	20.25	670	CE670	80	50	16	16.00	11.20	22.50	703	CE703	80	50	20	16.00	9.60	22.50
638	CE638	80	45	20	18.00	14.40	22.50	671	CE671	80	50	16	16.00	11.20	25.00	704	CE704	80	50	20	16.00	9.60	25.00
639	CE639	80	45	20	18.00	14.40	24.75	672	CE672	80	50	16	16.00	11.20	27.50	705	CE705	80	50	20	16.00	9.60	27.50
640	CE640	80	45	20	20.00	12.00	20.25	673	CE673	80	50	16	16.00	12.80	22.50	706	CE706	80	50	20	16.00	11.20	22.50
641	CE641	80	45	20	20.00	12.00	22.50	674	CE674	80	50	16	16.00	12.80	25.00	707	CE707	80	50	20	16.00	11.20	25.00
642	CE642	80	45	20	20.00	12.00	24.75	675	CE675	80	50	16	16.00	12.80	27.50	708	CE708	80	50	20	16.00	11.20	27.50
643	CE643	80	45	20	20.00	14.00	20.25	676	CE676	80	50	18	14.40	8.64	22.50	709	CE709	80	50	20	16.00	12.80	22.50
644	CE644	80	45	20	20.00	14.00	22.50	677	CE677	80	50	18	14.40	8.64	25.00	710	CE710	80	50	20	16.00	12.80	25.00
645	CE645	80	45	20	20.00	14.00	24.75	678	CE678	80	50	18	14.40	8.64	27.50	711	CE711	80	50	20	16.00	12.80	27.50
646	CE646	80	45	20	20.00	16.00	20.25	679	CE679	80	50	18	14.40	10.08	22.50	712	CE712	80	50	20	18.00	10.80	22.50
647	CE647	80	45	20	20.00	16.00	22.50	680	CE680	80	50	18	14.40	10.08	25.00	713	CE713	80	50	20	18.00	10.80	25.00
648	CE648	80	45	20	20.00	16.00	24.75	681	CE681	80	50	18	14.40	10.08	27.50	714	CE714	80	50	20	18.00	10.80	27.50
649	CE649	80	50	16	12.80	7.68	22.50	682	CE682	80	50	18	14.40	11.52	22.50	715	CE715	80	50	20	18.00	12.60	22.50
650	CE650	80	50	16	12.80	7.68	25.00	683	CE683	80	50	18	14.40	11.52	25.00	716	CE716	80	50	20	18.00	12.60	25.00
651	CE651	80	50	16	12.80	7.68	27.50	684	CE684	80	50	18	14.40	11.52	27.50	717	CE717	80	50	20	18.00	12.60	27.50
652	CE652	80	50	16	12.80	8.96	22.50	685	CE685	80	50	18	16.20	9.72	22.50	718	CE718	80	50	20	18.00	14.40	22.50
653	CE653	80	50	16	12.80	8.96	25.00	686	CE686	80	50	18	16.20	9.72	25.00	719	CE719	80	50	20	18.00	14.40	25.00
654	CE654	80	50	16	12.80	8.96	27.50	687	CE687	80	50	18	16.20	9.72	27.50	720	CE720	80	50	20	18.00	14.40	27.50
655	CE655	80	50	16	12.80	10.24	22.50	688	CE688	80	50	18	16.20	11.34	22.50	721	CE721	80	50	20	20.00	12.00	22.50
656	CE656	80	50	16	12.80	10.24	25.00	689	CE689	80	50	18	16.20	11.34	25.00	722	CE722	80	50	20	20.00	12.00	25.00
657	CE657	80	50	16	12.80	10.24	27.50	690	CE690	80	50	18	16.20	11.34	27.50	723	CE723	80	50	20	20.00	12.00	27.50
658	CE658	80	50	16	14.40	8.64	22.50	691	CE691	80	50	18	16.20	12.96	22.50	724	CE724	80	50	20	20.00	14.00	22.50
659	CE659	80	50	16	14.40	8.64	25.00	692	CE692	80	50	18	16.20	12.96	25.00	725	CE725	80	50	20	20.00	14.00	25.00
660	CE660	80	50	16	14.40	8.64	27.50	693	CE693	80	50	18	16.20	12.96	27.50	726	CE726	80	50	20	20.00	14.00	27.50
661	CE661	80	50	16	14.40	10.08	22.50	694	CE694	80	50	18	18.00	10.80	22.50	727	CE727	80	50	20	20.00	16.00	22.50
662	CE662	80	50	16	14.40	10.08	25.00	695	CE695	80	50	18	18.00	10.80	25.00	728	CE728	80	50	20	20.00	16.00	25.00
663	CE663	80	50	16	14.40	10.08	27.50	696	CE696	80	50	18	18.00	10.80	27.50	729	CE729	80	50	20	20.00	16.00	27.50

Anexo B. Tablas de resultados.

En las siguientes tablas, de la B.I a la B.XV, se muestran los resultados obtenidos de los análisis hidrodinámicos y del procesamiento estadísticos de los resultados. Las tablas incluyen los siguientes datos:

Columna	Título	Descripción
1	No.	Número de caso de estudio
2	Caso	Identificación del caso de estudio
3	Requisito de estabilidad	Esta columna indica si el caso de estudio cumple o no cumple con los requisitos de estabilidad establecido por MODU.
4	Arfada (m)	Desplazamiento vertical en el eje Z, (en metros).
5	Cabeceo (°)	Giro alrededor del eje longitudinal (X), (en grados).
6	Balaceo (°)	Giro alrededor del eje transversal (Y), (en grados).
7	M_{xyz} (ton-m)	Momento flexionante alrededor del eje X debido a la componente de la fuerza actuante en el plano YZ, (en toneladas por metro).
8	M_{yz} (ton-m)	Momento flexionante alrededor del eje Y debido a la componente de la fuerza actuante en el plano YZ, (en toneladas por metro).
9	M_{xz} (ton-m)	Momento flexionante alrededor del eje X debido a la componente de la fuerza actuante en el plano XZ, (en toneladas por metro).
10	M_{yx} (ton-m)	Momento flexionante alrededor del eje Y debido a la componente de la fuerza actuante en el plano XZ, (en toneladas por metro).
11	Acc_x (m/s ²)	Aceleración sobre la cubierta en dirección X, (metros sobre segundo al cuadrado)
12	Acc_y (m/s ²)	Aceleración sobre la cubierta en dirección Y, (en metros sobre segundo al cuadrado)
13	Acc_z (m/s ²)	Aceleración sobre la cubierta en dirección Z, (en metros sobre segundo al cuadrado)
14	$P1_{CENTRO}$ AGIW (m)	Distancia de la ola entrante en el punto 1, localizado al centro y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
15	$P2_{(-x)}$ AGIW (m)	Distancia de la ola entrante en el punto 2, localizado al extremo negativo del eje X y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
16	$P3_{(+x)}$ AGIW (m)	Distancia de la ola entrante en el punto 3, localizado al extremo positivo del eje X y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
17	$P4_{(-y)}$ AGIW (m)	Distancia de la ola entrante en el punto 4, localizado al extremo negativo del eje Y y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
18	$P5_{(+y)}$ AGIW (m)	Distancia de la ola entrante en el punto 4, localizado al extremo positivo del eje Y y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
19	$P1_{CENTRO}$ AGTW (m)	Distancia de la ola total en el punto 1, localizado al centro y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
20	$P2_{(-x)}$ AGTW (m)	Distancia de la ola total en el punto 2, localizado al extremo negativo del eje X y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
21	$P3_{(+x)}$ AGTW (m)	Distancia de la ola total en el punto 3, localizado al extremo positivo del eje X y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
22	$P4_{(-y)}$ AGTW (m)	Distancia de la ola total en el punto 4, localizado al extremo negativo del eje Y y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
23	$P5_{(+y)}$ AGTW (m)	Distancia de la ola total en el punto 4, localizado al extremo positivo del eje Y y en la parte inferior de la cubierta, (en metros).
24	Puntaje total	Valor del puntaje ponderado, unidimensional.
25	Selección del CE	Valor asignado de acuerdo con el valor del puntaje ponderado, unidimensional.

Tabla B.I Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 1 al 50.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Mx _{xz} (ton*m)	My _{xz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
1	CE1	Cumple	3.88	3.09	3.27	300000	797300	365500	335100	1.22	0.81	1.08	7.50	8.42	7.27	7.35	7.35	8.67	11.15	9.47	7.71	7.59	314	347
2	CE2	Cumple	3.57	2.71	2.88	236800	797500	315500	285300	1.12	0.70	0.97	7.69	8.52	7.52	7.56	7.56	8.84	11.05	9.27	7.92	7.88	226	221
3	CE3	Cumple	3.30	2.38	2.54	205400	814500	276200	247100	1.06	0.61	0.87	7.89	8.62	7.75	7.77	7.77	9.03	10.99	9.13	8.12	8.16	140	103
4	CE4	Cumple	4.04	3.38	3.51	382400	912200	402300	404500	1.32	0.91	1.14	7.42	8.34	6.99	7.29	7.29	8.65	11.33	9.62	7.66	7.48	368	425
5	CE5	Cumple	3.63	2.95	3.08	288600	896800	342200	323400	1.20	0.78	1.02	7.58	8.40	7.27	7.46	7.46	8.77	11.15	9.37	7.79	7.69	269	285
6	CE6	Cumple	3.28	2.58	2.72	244100	903000	296500	276800	1.12	0.67	0.91	7.74	8.49	7.52	7.64	7.64	8.92	11.03	9.18	7.96	7.97	173	142
7	CE7	Cumple	4.28	3.70	3.80	470000	1047000	446300	508500	1.46	1.04	1.20	7.41	8.30	6.69	7.29	7.29	8.67	11.64	9.83	7.74	7.38	423	508
8	CE8	Cumple	3.84	3.21	3.31	359200	1010000	372700	376700	1.30	0.87	1.07	7.52	8.33	7.01	7.41	7.41	8.77	11.35	9.52	7.75	7.58	329	372
9	CE9	Cumple	3.46	2.80	2.91	291100	1003000	331200	310200	1.19	0.74	0.96	7.66	8.40	7.29	7.57	7.57	8.88	11.16	9.28	7.88	7.82	227	224
10	CE10	Cumple	4.13	3.87	3.84	497100	1098000	454800	520900	1.48	1.02	1.15	7.41	8.10	6.67	7.35	7.35	8.73	11.14	9.55	7.49	7.40	422	506
11	CE11	Cumple	3.74	3.39	3.37	391200	1060000	383800	408800	1.33	0.86	1.03	7.53	8.15	6.97	7.48	7.48	8.77	10.95	9.25	7.58	7.73	327	370
12	CE12	Cumple	3.39	2.99	2.99	334200	1049000	331400	349000	1.21	0.74	0.93	7.66	8.22	7.24	7.62	7.62	8.86	10.81	9.03	7.73	7.96	225	220
13	CE13	Cumple	4.41	4.31	4.20	543900	1277000	518400	617300	1.66	1.18	1.21	7.43	8.09	6.32	7.39	7.39	8.83	11.57	9.83	7.63	7.29	478	582
14	CE14	Cumple	3.98	3.74	3.66	496900	1208000	426700	512900	1.46	0.98	1.09	7.51	8.11	6.67	7.47	7.47	8.85	11.21	9.46	7.59	7.55	397	471
15	CE15	Cumple	3.61	3.29	3.22	407700	1178000	380300	421000	1.30	0.83	0.98	7.62	8.16	6.99	7.58	7.58	8.89	11.00	9.18	7.68	7.85	295	315
16	CE16	Cumple	4.69	4.78	4.63	565400	1482000	602300	655900	1.87	1.37	1.27	7.50	8.14	6.17	7.46	7.51	8.88	12.21	10.32	7.90	7.06	519	640
17	CE17	Cumple	4.24	4.16	4.00	573800	1383000	480800	607400	1.61	1.12	1.15	7.53	8.08	6.33	7.51	7.51	8.95	11.62	9.74	7.70	7.38	458	557
18	CE18	Cumple	3.85	3.63	3.49	504200	1327000	445500	516200	1.42	0.93	1.04	7.60	8.12	6.70	7.58	7.58	8.95	11.25	9.38	7.67	7.69	368	427
19	CE19	Cumple	4.45	4.77	4.46	620700	1468000	579700	676800	1.79	1.27	1.20	7.49	7.94	6.16	7.49	7.51	8.98	11.48	9.81	7.53	7.29	506	620
20	CE20	Cumple	4.05	4.17	3.89	617000	1374000	473000	627300	1.56	1.05	1.08	7.54	7.95	6.48	7.54	7.54	8.93	11.08	9.39	7.47	7.70	436	525
21	CE21	Cumple	3.70	3.69	3.43	523100	1325000	417200	531300	1.39	0.88	0.98	7.63	8.00	6.80	7.63	7.63	8.93	10.85	9.07	7.55	7.96	339	388
22	CE22	Cumple	4.74	5.33	4.97	712800	1728000	691800	759500	2.05	1.51	1.26	7.59	8.01	6.31	7.59	7.74	9.14	12.17	10.41	7.76	6.99	548	676
23	CE23	Cumple	4.31	4.64	4.29	668600	1591000	545100	695600	1.75	1.22	1.14	7.60	7.94	6.24	7.60	7.60	9.08	11.57	9.72	7.60	7.43	493	608
24	CE24	Cumple	3.93	4.07	3.74	645300	1509000	495200	652300	1.53	1.01	1.04	7.64	7.97	6.49	7.64	7.64	9.03	11.14	9.31	7.56	7.82	416	496
25	CE25	Cumple	5.06	5.92	5.59	1135000	2020000	850700	1141000	2.28	1.82	1.35	7.74	8.21	6.75	7.74	8.10	9.00	12.88	11.22	8.32	6.66	580	707
26	CE26	Cumple	4.59	5.22	4.78	750600	1860000	643900	774500	2.00	1.44	1.21	7.72	7.97	6.37	7.72	7.84	9.26	12.28	10.28	7.88	7.13	537	664
27	CE27	Cumple	4.18	4.51	4.11	720600	1724000	590800	727200	1.70	1.16	1.09	7.70	7.95	6.32	7.70	7.70	9.19	11.65	9.65	7.69	7.56	479	584
28	CE28	Cumple	4.15	3.23	3.48	383600	1019000	486600	419800	1.30	0.96	1.15	7.48	8.65	7.12	7.33	7.32	8.59	11.97	9.88	7.97	7.53	372	436
29	CE29	Cumple	3.81	2.78	3.02	272200	1008000	416100	338900	1.19	0.82	1.03	7.66	8.72	7.42	7.56	7.52	8.78	11.85	9.57	8.10	7.80	280	297
30	CE30	Cumple	3.57	2.40	2.64	220600	1023000	362400	290900	1.12	0.71	0.92	7.85	8.82	7.69	7.78	7.73	9.00	11.76	9.35	8.27	8.12	194	173
31	CE31	Cumple	4.34	3.64	3.85	506100	1183000	547800	558800	1.43	1.11	1.22	7.46	8.58	6.75	7.31	7.31	8.63	12.28	10.13	7.98	7.41	436	526
32	CE32	Cumple	3.90	3.10	3.32	350000	1143000	458900	389700	1.29	0.93	1.09	7.57	8.62	7.09	7.45	7.45	8.73	12.04	9.77	8.05	7.61	339	386
33	CE33	Cumple	3.52	2.67	2.88	267300	1140000	393900	329600	1.19	0.79	0.97	7.72	8.69	7.39	7.61	7.61	8.89	11.87	9.46	8.14	7.89	237	234
34	CE34	Cumple	4.65	4.13	4.29	489300	1386000	627200	620200	1.63	1.29	1.28	7.51	8.56	6.35	7.37	7.38	8.67	12.90	10.39	8.05	7.20	489	602
35	CE35	Cumple	4.17	3.48	3.66	477100	1304000	511700	505600	1.41	1.06	1.15	7.56	8.56	6.73	7.44	7.44	8.78	12.34	10.03	8.10	7.47	408	485
36	CE36	Cumple	3.75	2.98	3.16	337600	1276000	433300	372500	1.27	0.89	1.03	7.66	8.60	7.08	7.56	7.56	8.86	12.08	9.64	8.11	7.69	304	328
37	CE37	Cumple	4.44	4.19	4.26	552500	1436000	631300	648600	1.60	1.24	1.21	7.49	8.33	6.39	7.42	7.45	8.78	12.14	10.06	7.80	7.32	486	595
38	CE38	Cumple	4.01	3.59	3.67	486300	1364000	522200	504100	1.41	1.03	1.09	7.56	8.34	6.74	7.51	7.51	8.78	11.85	9.66	7.87	7.67	399	474
39	CE39	Cumple	3.63	3.12	3.21	377200	1338000	445100	393200	1.28	0.87	0.98	7.66	8.39	7.07	7.62	7.62	8.86	11.66	9.30	7.92	7.95	294	313
40	CE40	Cumple	4.76	4.77	4.79	539800	1693000	745600	661500	1.86	1.47	1.28	7.58	8.38	6.29	7.53	7.67	8.91	12.91	10.41	7.86	7.08	530	655
41	CE41	Cumple	4.30	4.06	4.09	586000	1576000	597800	626700	1.58	1.19	1.16	7.60	8.32	6.35	7.56	7.56	8.92	12.27	10.00	7.95	7.39	470	574
42	CE42	Cumple	3.89	3.49	3.54	495400	1515000	501500	509000	1.40	0.99	1.04	7.66	8.34	6.73	7.62	7.62	8.91	11.94	9.56	7.96	7.79	376	441
43	CE43	Cumple	5.12	5.51	5.47	845300	2010000	906600	877800	2.13	1.79	1.38	7.76	8.52	6.75	7.70	8.05	8.96	13.45	11.11	8.25	6.75	571	699
44	CE44	Cumple	4.62	4.66	4.61	558500	1838000	700000	643800	1.82	1.41	1.22	7.70	8.33	6.37	7.67	7.79	9.09	13.05	10.35	8.00	7.16	519	639
45	CE45	Cumple	4.17	3.94	3.93	621200	1725000	594300	634600	1.55	1.14	1.10	7.70	8.32	6.35	7.68	7.68	9.06	12.37	9.92	8.07	7.50	452	550
46	CE46	Cumple	4.78	5.27	5.10	656000	1959000	842300	720700	2.00	1.59	1.26	7.67	8.22	6.48	7.67	7.93	9.16	12.78	10.39	7.66	7.11	552	683
47	CE47	Cumple	4.34	4.50	4.35	657900	1800000	668700	696300	1.68	1.28	1.14	7.66	8.16	6.32	7.66	7.74	9.05	12.17	9.93	7.83	7.56	499	612
48	CE48	Cumple	3.95	3.91	3.77	637500	1715000	553300	646600	1.48	1.05	1.04	7.70	8.16	6.54	7.70	7.70	8.98	11.81	9.45	7.84	7.97	418	500
49	CE49	Cumple	5.14	6.03	5.87	1223000	2323000	1058000	1233000	2.23	1.94	1.36	7.86	8.43	7.12	7.86	8.36	9.32	13.55	11.14	8.13	6.79	589	719
50	CE50	Cumple	4.67	5.18	4.95	693900	2129000	805600	728000	1.96	1.53	1.21	7.82	8.19	6.58	7.82	8.05	9.32	13.04	10.36	7.83	7.15	545	673

Tabla B.II. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 51 al 100.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	Mx _{yz} (ton*m)	My _{yz} (ton*m)	Mx _{yz} (ton*m)	My _{yz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
51	CE51	Cumple	4.24	4.43	4.22	719700	1978000	664400	729200	1.66	1.23	1.10	7.78	8.16	6.40	7.78	7.85	9.19	12.33	9.90	7.97	7.69	489	604
52	CE52	Cumple	5.59	7.53	7.22	948500	2894000	1393000	1086000	3.01	2.43	1.47	8.22	9.00	8.55	8.12	9.22	8.69	15.00	12.41	8.19	7.45	593	722
53	CE53	Cumple	5.03	5.96	5.73	1238000	2516000	1006000	1238000	2.20	1.88	1.30	8.05	8.34	7.25	8.05	8.53	9.52	13.76	11.18	8.27	6.76	584	715
54	CE54	Cumple	4.56	5.07	4.80	738300	2305000	804800	748300	1.91	1.47	1.16	7.95	8.19	6.65	7.95	8.15	9.46	13.24	10.35	8.01	7.21	537	665
55	CE55	Cumple	4.44	3.48	3.81	536300	1279000	642100	574200	1.37	1.14	1.22	7.51	8.90	6.92	7.41	7.34	8.62	12.89	10.21	8.31	7.39	436	527
56	CE56	Cumple	4.07	2.97	3.26	336000	1244000	543600	387000	1.24	0.96	1.09	7.65	8.95	7.27	7.62	7.51	8.86	12.71	9.68	8.24	7.67	343	396
57	CE57	Cumple	3.83	2.56	2.81	251700	1250000	470900	328600	1.16	0.82	0.98	7.82	9.04	7.59	7.83	7.70	9.12	12.60	9.38	8.32	8.05	256	261
58	CE58	Cumple	4.68	4.07	4.33	544000	1517000	742800	665300	1.58	1.34	1.29	7.56	8.85	6.44	7.40	7.47	8.70	13.45	10.69	8.27	7.21	498	611
59	CE59	Cumple	4.20	3.37	3.66	474200	1427000	611100	510100	1.36	1.10	1.15	7.62	8.86	6.85	7.50	7.48	8.79	12.99	10.05	8.38	7.45	412	488
60	CE60	Cumple	3.78	2.87	3.13	310800	1403000	519400	373900	1.24	0.93	1.03	7.73	8.90	7.21	7.67	7.61	9.00	12.77	9.55	8.27	7.75	307	334
61	CE61	Cumple	5.06	4.84	5.02	563900	1835000	881500	691200	1.92	1.61	1.37	7.71	8.85	6.50	7.57	7.80	8.76	14.09	10.95	8.21	6.89	545	672
62	CE62	Cumple	4.54	3.90	4.14	549800	1656000	699900	643600	1.55	1.29	1.22	7.69	8.83	6.39	7.56	7.60	8.87	13.57	10.62	8.87	7.27	481	589
63	CE63	Cumple	4.07	3.25	3.51	430700	1586000	580200	461200	1.34	1.06	1.10	7.72	8.84	6.82	7.61	7.61	8.97	13.08	9.90	8.44	7.51	385	451
64	CE64	Cumple	4.76	4.68	4.81	526300	1844000	870200	679500	1.76	1.50	1.27	7.64	8.61	6.39	7.57	7.78	8.96	13.53	10.58	7.96	7.08	530	653
65	CE65	Cumple	4.30	3.92	4.07	630400	1716000	705100	653100	1.49	1.22	1.15	7.65	8.57	6.47	7.60	7.67	8.89	12.90	10.00	8.24	7.56	468	568
66	CE66	Cumple	3.88	3.34	3.50	426100	1662000	593400	448500	1.32	1.02	1.04	7.72	8.58	6.85	7.68	7.68	8.99	12.57	9.37	8.06	7.87	367	424
67	CE67	Cumple	5.15	5.55	5.60	727200	2219000	1073000	785200	2.07	1.84	1.37	7.83	8.73	6.96	7.77	8.20	9.11	14.15	10.98	8.00	6.85	569	698
68	CE68	Cumple	4.66	4.57	4.67	531200	2021000	836100	657400	1.74	1.46	1.22	7.78	8.58	6.50	7.74	7.93	9.12	13.68	10.62	8.21	7.13	521	641
69	CE69	Cumple	4.20	3.83	3.96	640500	1905000	681000	657800	1.47	1.19	1.10	7.77	8.56	6.42	7.74	7.79	9.06	13.05	9.90	8.34	7.65	455	552
70	CE70	Cumple	5.61	7.14	6.98	811200	2830000	1393000	1068000	2.80	2.33	1.49	8.15	9.19	8.48	8.09	9.13	9.24	15.32	11.95	8.84	7.73	587	718
71	CE71	Cumple	5.04	5.41	5.46	698500	2404000	1022000	740900	2.05	1.79	1.31	8.00	8.67	7.08	7.96	8.37	9.34	14.43	11.00	8.16	6.86	561	689
72	CE72	Cumple	4.55	4.45	4.53	558800	2210000	803200	641700	1.71	1.41	1.17	7.91	8.57	6.59	7.88	8.06	9.27	13.80	10.62	8.44	7.20	508	624
73	CE73	Cumple	5.14	5.96	5.96	876200	2530000	1215000	915200	2.14	1.96	1.34	7.93	8.60	7.31	7.93	8.51	9.52	14.15	10.97	7.73	7.03	580	709
74	CE74	Cumple	4.67	4.96	4.95	608800	2319000	942000	689000	1.83	1.55	1.20	7.88	8.40	6.71	7.88	8.19	9.32	13.66	10.57	8.05	7.48	537	666
75	CE75	Cumple	4.24	4.22	4.22	780100	2174000	762300	792400	1.55	1.26	1.09	7.86	8.36	6.49	7.86	7.98	9.17	12.98	9.79	8.20	7.93	488	598
76	CE76	Cumple	5.60	7.56	7.46	833700	3206000	1666000	1068000	2.93	2.53	1.47	8.25	9.37	9.07	8.25	9.69	9.60	15.77	12.21	8.37	8.37	589	720
77	CE77	Cumple	5.07	5.95	5.92	1035000	2781000	1188000	1048000	2.12	1.95	1.29	8.16	8.53	7.56	8.16	8.75	9.76	14.43	11.08	8.00	7.06	581	712
78	CE78	Cumple	4.60	4.93	4.88	668000	2550000	924400	693200	1.81	1.52	1.16	8.04	8.39	6.83	8.04	8.34	9.49	13.89	10.62	8.25	7.54	532	658
79	CE79	Cumple	6.20	11.53	10.36	2604000	3079000	1927000	2682000	3.77	3.41	1.61	8.68	11.03	12.58	9.04	12.45	9.64	12.95	11.31	10.46	9.09	607	729
80	CE80	Cumple	5.55	7.46	7.38	865100	3441000	1622000	1021000	2.89	2.50	1.41	8.52	9.31	9.34	8.52	9.96	9.83	16.23	12.47	8.44	8.31	586	717
81	CE81	Cumple	5.01	5.96	5.88	1241000	3049000	1170000	1241000	2.10	1.92	1.25	8.36	8.48	7.79	8.36	8.96	9.97	14.65	11.17	8.25	7.12	581	713
82	CE82	Cumple	3.53	2.61	2.70	239700	811200	306100	291700	1.04	0.66	0.95	7.71	8.54	7.57	7.62	7.58	8.86	11.05	9.23	8.01	7.97	205	188
83	CE83	Cumple	3.23	2.27	2.36	207400	832300	266800	251100	0.98	0.57	0.84	7.93	8.65	7.81	7.85	7.82	9.06	10.97	9.08	8.22	8.27	117	79
84	CE84	Cumple	2.90	1.98	2.06	197800	864400	276000	220900	0.94	0.50	0.74	8.12	8.75	8.03	8.05	8.02	9.26	10.93	8.99	8.40	8.54	51	16
85	CE85	Cumple	3.59	2.80	2.87	289100	910200	331900	331500	1.12	0.74	1.01	7.60	8.45	7.34	7.49	7.49	8.79	11.17	9.34	7.90	7.83	245	245
86	CE86	Cumple	3.20	2.44	2.51	244000	919900	302000	281300	1.04	0.63	0.89	7.78	8.53	7.60	7.69	7.68	8.97	11.04	9.13	8.08	8.09	144	108
87	CE87	Cumple	2.88	2.12	2.19	228700	944200	308500	243600	0.98	0.54	0.78	7.96	8.63	7.84	7.89	7.88	9.14	10.95	9.00	8.25	8.36	73	31
88	CE88	Cumple	3.79	3.02	3.07	355300	1023000	361300	376300	1.22	0.83	1.06	7.54	8.39	7.11	7.43	7.43	8.80	11.37	9.51	7.86	7.73	302	325
89	CE89	Cumple	3.37	2.62	2.67	287400	1018000	344900	315000	1.10	0.69	0.94	7.70	8.46	7.39	7.61	7.61	8.92	11.16	9.23	7.99	7.96	193	171
90	CE90	Cumple	3.01	2.28	2.33	262900	1033000	348500	273200	1.02	0.59	0.83	7.86	8.55	7.65	7.79	7.78	9.08	11.03	9.06	8.15	8.23	106	63
91	CE91	Cumple	3.71	3.22	3.15	392200	1081000	374100	409700	1.26	0.83	1.02	7.54	8.21	7.06	7.50	7.50	8.81	11.00	9.25	7.69	7.79	306	330
92	CE92	Cumple	3.32	2.82	2.76	334000	1070000	342700	348300	1.13	0.70	0.91	7.70	8.28	7.34	7.65	7.65	8.90	10.85	9.00	7.85	8.05	196	176
93	CE93	Cumple	2.98	2.48	2.43	312800	1079000	345200	323400	1.04	0.59	0.81	7.85	8.38	7.58	7.81	7.81	9.03	10.75	8.85	8.02	8.27	111	69
94	CE94	Cumple	3.95	3.52	3.40	494100	1229000	415800	510300	1.39	0.95	1.08	7.52	8.18	6.78	7.49	7.49	8.88	11.26	9.47	7.71	7.66	372	437
95	CE95	Cumple	3.54	3.07	2.96	401500	1198000	397700	414900	1.23	0.78	0.96	7.64	8.24	7.11	7.62	7.62	8.92	11.03	9.15	7.80	7.93	263	273
96	CE96	Cumple	3.18	2.69	2.60	364000	1194000	396300	374400	1.11	0.66	0.86	7.79	8.32	7.39	7.76	7.76	9.02	10.87	8.93	7.95	8.17	161	130
97	CE97	Cumple	4.20	3.89	3.71	576000	1405000	491600	609700	1.54	1.09	1.13	7.54	8.18	6.47	7.52	7.52	8.99	11.66	9.75	7.82	7.56	439	528
98	CE98	Cumple	3.77	3.36	3.20	489900	1346000	464000	502100	1.34	0.89	1.01	7.62	8.20	6.85	7.60	7.60	8.99	11.28	9.35	7.80	7.80	334	381
99	CE99	Cumple	3.39	2.93	2.79	425200	1324000	456900	435300	1.20	0.74	0.91	7.74	8.27	7.17	7.72	7.72	9.03	11.03	9.06	7.90	8.06	223	218
100	CE100	Cumple	4.02	3.93	3.63	618100	1405000	463300	628800	1.51	1.03	1.07	7.56	8.04	6.58	7.56	7.56	8.96	11.14	9.39	7.59	7.76	419	503

Tabla B.III. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 101 al 150.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
101	CE101	Cumple	3.64	3.44	3.17	516400	1352000	438400	525000	1.32	0.85	0.96	7.66	8.09	6.93	7.66	7.66	8.96	10.90	9.05	7.68	8.03	313	346
102	CE102	Cumple	3.29	3.04	2.79	465900	1331000	433500	472900	1.18	0.71	0.87	7.77	8.17	7.22	7.77	7.77	9.02	10.74	8.82	7.82	8.23	206	189
103	CE103	Cumple	4.28	4.35	4.00	669200	1624000	553200	701400	1.69	1.20	1.13	7.62	8.04	6.34	7.62	7.62	9.14	11.63	9.75	7.74	7.56	481	588
104	CE104	Cumple	3.86	3.78	3.45	632500	1534000	518000	640000	1.46	0.97	1.02	7.67	8.06	6.63	7.67	7.67	9.07	11.19	9.29	7.69	7.91	390	458
105	CE105	Cumple	3.50	3.32	3.01	548900	1490000	505800	555300	1.29	0.80	0.91	7.76	8.12	6.98	7.76	7.76	9.06	10.93	8.96	7.78	8.14	278	292
106	CE106	Cumple	4.55	4.78	4.41	694700	1867000	661700	736600	1.90	1.41	1.19	7.71	8.11	6.43	7.71	7.79	9.29	12.41	10.25	8.01	7.31	525	647
107	CE107	Cumple	4.10	4.17	3.78	723300	1746000	615100	730500	1.63	1.12	1.07	7.72	8.05	6.43	7.72	7.72	9.22	11.65	9.60	7.79	7.71	458	556
108	CE108	Cumple	3.71	3.63	3.27	652100	1671000	591500	657500	1.41	0.91	0.96	7.76	8.09	6.70	7.76	7.76	9.17	11.22	9.19	7.78	8.04	355	410
109	CE109	Cumple	3.78	2.65	2.82	274000	1022000	403100	345500	1.11	0.78	1.01	7.68	8.75	7.48	7.67	7.54	8.82	11.86	9.53	8.21	7.93	257	262
110	CE110	Cumple	3.51	2.27	2.43	221200	1042000	346000	294500	1.03	0.66	0.90	7.89	8.84	7.76	7.90	7.78	9.06	11.75	9.29	8.38	8.23	166	135
111	CE111	Cumple	3.18	1.94	2.10	203800	1079000	355900	257000	0.98	0.57	0.79	8.09	8.94	8.00	8.10	7.99	9.29	11.66	9.14	8.55	8.53	86	46
112	CE112	Cumple	3.85	2.92	3.07	345500	1156000	444300	397800	1.21	0.88	1.07	7.59	8.66	7.18	7.54	7.47	8.75	12.05	9.73	8.16	7.77	310	341
113	CE113	Cumple	3.43	2.49	2.64	264200	1158000	390800	333400	1.10	0.74	0.94	7.75	8.72	7.48	7.73	7.65	8.94	11.86	9.39	8.25	8.04	198	177
114	CE114	Cumple	3.09	2.14	2.28	237500	1182000	400100	285700	1.03	0.63	0.83	7.92	8.80	7.76	7.92	7.83	9.14	11.72	9.18	8.39	8.31	108	66
115	CE115	Cumple	4.12	3.25	3.36	465500	1315000	494800	495700	1.33	1.01	1.13	7.57	8.62	6.86	7.48	7.46	8.79	12.35	10.00	8.29	7.66	380	447
116	CE116	Cumple	3.66	2.75	2.87	325100	1291000	450900	376400	1.19	0.83	1.00	7.69	8.65	7.21	7.64	7.59	8.91	12.06	9.57	8.23	7.88	266	278
117	CE117	Cumple	3.26	2.35	2.48	278900	1300000	455200	317700	1.09	0.70	0.89	7.84	8.72	7.52	7.82	7.76	9.07	11.85	9.28	8.31	8.15	159	122
118	CE118	Cumple	3.97	3.38	3.41	481500	1387000	508800	499000	1.35	0.99	1.08	7.57	8.40	6.85	7.53	7.53	8.80	11.90	9.65	7.99	7.74	377	444
119	CE119	Cumple	3.55	2.90	2.94	372700	1361000	446800	388100	1.20	0.82	0.96	7.70	8.45	7.17	7.65	7.65	8.89	11.68	9.25	8.04	8.04	259	264
120	CE120	Cumple	3.18	2.52	2.56	340500	1365000	451500	351900	1.10	0.69	0.86	7.83	8.53	7.46	7.80	7.80	9.05	11.52	9.00	8.15	8.27	156	120
121	CE121	Cumple	4.26	3.79	3.78	595100	1598000	581900	639400	1.51	1.16	1.14	7.61	8.40	6.48	7.57	7.57	8.95	12.31	10.00	8.09	7.58	452	549
122	CE122	Cumple	3.81	3.23	3.23	476200	1535000	523800	489900	1.32	0.94	1.02	7.68	8.41	6.87	7.65	7.65	8.94	11.96	9.52	8.08	7.89	341	391
123	CE123	Cumple	3.41	2.78	2.79	404800	1518000	521400	415800	1.18	0.78	0.91	7.79	8.47	7.21	7.76	7.76	9.03	11.72	9.15	8.12	8.16	228	225
124	CE124	Cumple	4.56	4.25	4.22	551100	1838000	679600	661100	1.71	1.36	1.21	7.70	8.46	6.42	7.67	7.73	9.10	13.11	10.36	8.17	7.38	503	617
125	CE125	Cumple	4.08	3.62	3.57	616400	1741000	617700	629000	1.46	1.09	1.08	7.71	8.40	6.52	7.69	7.69	9.06	12.36	9.86	8.19	7.66	422	507
126	CE126	Cumple	3.65	3.09	3.06	491000	1693000	604900	501000	1.29	0.88	0.96	7.78	8.43	6.92	7.76	7.76	9.08	12.00	9.38	8.16	8.02	308	335
127	CE127	Cumple	4.31	4.22	4.05	665700	1835000	655100	712200	1.63	1.25	1.13	7.68	8.24	6.41	7.68	7.73	9.09	12.24	9.93	7.98	7.65	486	596
128	CE128	Cumple	3.88	3.63	3.47	618600	1743000	580100	628500	1.41	1.01	1.02	7.73	8.25	6.67	7.73	7.73	9.01	11.86	9.41	7.97	8.07	391	460
129	CE129	Cumple	3.51	3.16	3.01	529400	1705000	574200	537600	1.25	0.83	0.91	7.81	8.30	7.03	7.81	7.81	9.06	11.59	9.02	7.99	8.28	279	296
130	CE130	Cumple	4.63	4.77	4.58	654500	2142000	787300	714000	1.87	1.50	1.20	7.81	8.32	6.61	7.81	8.00	9.33	13.16	10.33	8.00	7.35	532	660
131	CE131	Cumple	4.16	4.08	3.87	739100	2002000	693400	748800	1.58	1.19	1.08	7.80	8.25	6.49	7.80	7.82	9.20	12.34	9.83	8.11	7.82	469	573
132	CE132	Cumple	3.75	3.53	3.32	650400	1924000	674700	657100	1.38	0.96	0.97	7.83	8.26	6.70	7.83	7.83	9.15	11.92	9.31	8.06	8.17	367	423
133	CE133	Cumple	4.98	5.39	5.24	911700	2488000	971200	926000	2.12	1.82	1.29	8.01	8.50	7.12	8.01	8.38	9.50	13.96	11.08	8.26	7.03	568	697
134	CE134	Cumple	4.47	4.65	4.38	718700	2321000	836300	740800	1.82	1.42	1.14	7.94	8.28	6.67	7.94	8.09	9.48	13.21	10.24	8.16	7.44	522	643
135	CE135	Cumple	4.02	3.95	3.70	797500	2181000	797000	802200	1.53	1.12	1.02	7.90	8.26	6.57	7.90	7.90	9.31	12.40	9.71	8.20	7.97	448	542
136	CE136	Cumple	4.04	2.76	3.00	336800	1257000	525900	392600	1.16	0.91	1.07	7.67	8.96	7.34	7.73	7.53	8.89	12.71	9.61	8.33	7.86	315	350
137	CE137	Cumple	3.78	2.35	2.56	250700	1270000	449100	331000	1.07	0.76	0.95	7.87	9.04	7.67	7.95	7.75	9.19	12.57	9.29	8.43	8.24	222	216
138	CE138	Cumple	3.49	2.01	2.19	214000	1310000	444800	286800	1.02	0.65	0.84	8.07	9.15	7.95	8.17	7.97	9.47	12.46	9.10	8.61	8.60	137	98
139	CE139	Cumple	4.15	3.13	3.35	456800	1438000	590400	490600	1.27	1.05	1.14	7.63	8.89	6.96	7.63	7.50	8.82	12.99	9.97	8.47	7.65	380	449
140	CE140	Cumple	3.69	2.62	2.83	303100	1419000	494100	376300	1.15	0.86	1.00	7.76	8.92	7.32	7.80	7.65	9.05	12.74	9.45	8.36	7.96	266	280
141	CE141	Cumple	3.31	2.23	2.42	251000	1441000	502300	319200	1.07	0.73	0.89	7.91	8.98	7.64	7.97	7.82	9.28	12.56	9.15	8.42	8.30	160	126
142	CE142	Cumple	4.47	3.59	3.77	578300	1661000	674600	658200	1.45	1.22	1.21	7.69	8.88	6.55	7.60	7.56	8.87	13.55	10.57	8.68	7.49	459	559
143	CE143	Cumple	3.97	2.96	3.15	395600	1596000	571300	430200	1.25	0.99	1.07	7.74	8.88	6.97	7.72	7.64	9.01	13.04	9.76	8.50	7.75	343	395
144	CE144	Cumple	3.53	2.48	2.68	299500	1593000	574500	357100	1.14	0.82	0.95	7.85	8.92	7.34	7.88	7.77	9.21	12.77	9.31	8.41	8.09	230	229
145	CE145	Cumple	4.26	3.65	3.76	624000	1739000	686200	646100	1.41	1.18	1.14	7.66	8.63	6.59	7.62	7.65	8.91	12.95	9.97	8.37	7.64	449	544
146	CE146	Cumple	3.80	3.08	3.19	413000	1685000	567500	434500	1.25	0.96	1.01	7.74	8.64	6.97	7.70	7.70	9.04	12.59	9.29	8.17	7.98	329	373
147	CE147	Cumple	3.39	2.63	2.74	359800	1681000	572000	376100	1.13	0.80	0.90	7.85	8.69	7.31	7.82	7.82	9.21	12.37	8.95	8.18	8.27	216	207
148	CE148	Cumple	4.60	4.21	4.28	552400	2028000	810900	687900	1.64	1.41	1.21	7.78	8.68	6.54	7.74	7.87	9.11	13.70	10.65	8.44	7.35	506	621
149	CE149	Cumple	4.11	3.51	3.59	598400	1923000	669100	616500	1.39	1.13	1.08	7.78	8.63	6.58	7.75	7.76	9.08	13.03	9.76	8.43	7.77	421	505
150	CE150	Cumple	3.67	2.97	3.05	441800	1881000	664600	457500	1.23	0.92	0.96	7.84	8.64	6.98	7.82	7.82	9.21	12.66	9.17	8.24	8.10	304	329

Tabla B.IV. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 151 al 200.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Mx _{xz} (ton*m)	My _{xz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
151	CE151	Cumple	4.98	4.93	4.96	626900	2384000	984100	743300	1.95	1.71	1.30	7.98	8.80	6.99	7.94	8.25	9.30	14.64	10.95	8.28	7.08	551	680
152	CE152	Cumple	4.44	4.04	4.09	600700	2216000	798800	680300	1.60	1.34	1.15	7.90	8.65	6.62	7.88	7.99	9.26	13.72	10.52	8.65	7.44	489	601
153	CE153	Cumple	3.96	3.36	3.43	589500	2118000	777100	602500	1.36	1.07	1.02	7.88	8.63	6.60	7.87	7.87	9.26	13.08	9.58	8.47	7.89	395	468
154	CE154	Cumple	4.64	4.65	4.61	614300	2356000	922500	713600	1.77	1.52	1.19	7.90	8.48	6.76	7.90	8.14	9.36	13.79	10.50	8.21	7.58	529	651
155	CE155	Cumple	4.16	3.89	3.86	765700	2201000	746300	778500	1.48	1.21	1.07	7.87	8.44	6.57	7.87	7.94	9.19	12.99	9.67	8.31	8.04	461	561
156	CE156	Cumple	3.75	3.26	3.22	586300	2119000	725500	594700	1.29	0.96	0.96	7.90	8.49	6.81	7.90	7.90	9.26	12.58	9.06	8.16	8.30	345	399
157	CE157	Cumple	5.02	5.43	5.42	777800	2752000	1149000	812500	2.06	1.89	1.28	8.12	8.69	7.40	8.12	8.59	9.68	14.74	10.99	8.05	7.11	566	695
158	CE158	Cumple	4.51	4.52	4.45	674000	2567000	903200	708900	1.72	1.46	1.14	8.04	8.48	6.83	8.04	8.26	9.47	13.83	10.54	8.48	7.69	515	634
159	CE159	Cumple	4.05	3.76	3.68	792200	2410000	856100	797600	1.44	1.14	1.02	7.99	8.48	6.66	7.99	8.04	9.36	13.12	9.57	8.42	8.13	442	533
160	CE160	Cumple	5.48	6.76	6.72	879900	3371000	1530000	1062000	2.62	2.43	1.39	8.47	9.28	9.03	8.47	9.70	9.78	16.02	12.04	8.72	7.97	584	716
161	CE161	Cumple	4.89	5.30	5.26	847700	2995000	1100000	864400	2.02	1.81	1.22	8.30	8.62	7.51	8.30	8.75	9.90	14.88	10.98	8.23	7.13	561	688
162	CE162	Cumple	4.38	4.41	4.29	758600	2791000	1045000	767900	1.67	1.39	1.09	8.16	8.48	6.89	8.16	8.36	9.60	13.90	10.45	8.68	7.83	507	622
163	CE163	Cumple	3.23	2.24	2.28	213900	842900	277900	260200	0.91	0.54	0.84	7.93	8.66	7.83	7.90	7.82	9.07	10.99	9.07	8.27	8.33	115	77
164	CE164	Cumple	2.86	1.94	1.97	202600	878500	286500	227900	0.87	0.47	0.73	8.13	8.76	8.05	8.11	8.04	9.28	10.93	8.96	8.46	8.61	48	12
165	CE165	Cumple	2.56	1.66	1.70	209200	922400	303800	214300	0.85	0.42	0.64	8.31	8.86	8.25	8.29	8.23	9.46	10.90	8.92	8.62	8.85	18	1
166	CE166	Cumple	3.20	2.38	2.40	250600	931800	314200	292700	0.97	0.60	0.89	7.78	8.55	7.62	7.76	7.68	8.96	11.06	9.13	8.14	8.16	140	102
167	CE167	Cumple	2.85	2.06	2.08	233000	958700	319700	252000	0.91	0.51	0.77	7.98	8.65	7.87	7.97	7.90	9.16	10.96	8.98	8.32	8.45	67	27
168	CE168	Cumple	2.57	1.77	1.80	236000	995900	334700	241700	0.88	0.45	0.68	8.17	8.76	8.10	8.16	8.10	9.35	10.91	8.91	8.49	8.70	30	4
169	CE169	Cumple	3.38	2.54	2.54	294100	1032000	358400	328800	1.04	0.67	0.94	7.70	8.50	7.44	7.67	7.61	8.92	11.19	9.24	8.07	8.06	188	163
170	CE170	Cumple	2.97	2.19	2.20	266700	1048000	360300	278600	0.96	0.56	0.82	7.88	8.58	7.70	7.87	7.80	9.09	11.04	9.04	8.23	8.32	96	51
171	CE171	Cumple	2.62	1.89	1.90	264800	1078000	372600	270900	0.91	0.48	0.72	8.06	8.68	7.95	8.05	7.99	9.26	10.94	8.93	8.39	8.58	44	8
172	CE172	Cumple	3.33	2.74	2.63	342900	1091000	359100	357300	1.08	0.68	0.91	7.69	8.33	7.37	7.66	7.66	8.91	10.90	9.02	7.92	8.11	191	166
173	CE173	Cumple	2.95	2.39	2.30	318600	1099000	359300	328900	0.99	0.57	0.80	7.86	8.42	7.63	7.83	7.83	9.06	10.79	8.85	8.10	8.35	103	62
174	CE174	Cumple	2.62	2.08	2.00	315800	1123000	370500	322500	0.92	0.48	0.71	8.03	8.53	7.86	7.99	7.99	9.21	10.72	8.76	8.26	8.58	53	20
175	CE175	Cumple	3.55	2.96	2.81	410800	1221000	416100	424500	1.18	0.77	0.96	7.64	8.30	7.16	7.62	7.62	8.94	11.10	9.18	7.89	8.01	255	258
176	CE176	Cumple	3.15	2.57	2.44	368700	1215000	411400	379200	1.06	0.63	0.85	7.80	8.37	7.45	7.77	7.77	9.04	10.91	8.93	8.03	8.25	148	115
177	CE177	Cumple	2.81	2.24	2.13	357900	1228000	418800	364900	0.97	0.53	0.75	7.95	8.47	7.71	7.93	7.93	9.17	10.80	8.80	8.19	8.49	79	40
178	CE178	Cumple	3.78	3.22	3.03	499900	1372000	484900	512700	1.30	0.87	1.01	7.62	8.27	6.91	7.61	7.61	9.01	11.36	9.39	7.90	7.89	325	366
179	CE179	Cumple	3.36	2.79	2.62	428200	1346000	473300	438500	1.14	0.71	0.90	7.75	8.33	7.25	7.74	7.74	9.04	11.07	9.06	7.99	8.16	207	193
180	CE180	Cumple	3.00	2.42	2.27	405300	1346000	476000	412400	1.03	0.59	0.80	7.90	8.42	7.54	7.88	7.88	9.16	10.91	8.87	8.13	8.39	117	80
181	CE181	Cumple	3.65	3.31	3.02	529100	1385000	461600	538400	1.29	0.84	0.97	7.66	8.16	6.98	7.66	7.66	8.99	11.00	9.11	7.77	8.06	307	333
182	CE182	Cumple	3.27	2.89	2.63	472000	1359000	452000	479100	1.14	0.69	0.86	7.79	8.23	7.29	7.79	7.79	9.04	10.80	8.83	7.91	8.27	193	170
183	CE183	Cumple	2.94	2.54	2.30	450700	1358000	455800	455700	1.03	0.57	0.77	7.93	8.33	7.56	7.93	7.93	9.15	10.68	8.69	8.07	8.47	113	73
184	CE184	Cumple	3.88	3.62	3.28	645300	1572000	544800	653500	1.43	0.97	1.02	7.68	8.14	6.69	7.68	7.68	9.11	11.30	9.35	7.80	7.97	386	452
185	CE185	Cumple	3.47	3.14	2.83	552900	1520000	525900	559600	1.24	0.78	0.91	7.77	8.19	7.06	7.77	7.77	9.09	10.99	8.98	7.87	8.19	264	274
186	CE186	Cumple	3.12	2.75	2.47	514600	1502000	524100	519600	1.11	0.64	0.81	7.89	8.28	7.37	7.89	7.89	9.16	10.81	8.77	8.01	8.39	161	131
187	CE187	Cumple	4.12	3.98	3.59	722500	1791000	646600	731000	1.60	1.12	1.07	7.73	8.14	6.51	7.73	7.73	9.29	11.76	9.68	7.94	7.79	455	553
188	CE188	Cumple	3.68	3.42	3.06	653300	1703000	614000	659200	1.37	0.89	0.95	7.77	8.17	6.79	7.77	7.77	9.19	11.28	9.20	7.89	8.10	340	389
189	CE189	Cumple	3.31	2.98	2.65	587500	1664000	603800	592300	1.20	0.73	0.85	7.87	8.24	7.16	7.87	7.87	9.19	10.99	8.89	7.97	8.31	222	214
190	CE190	Cumple	3.51	2.23	2.33	229200	1054000	356200	304700	0.96	0.63	0.90	7.89	8.84	7.77	7.95	7.78	9.06	11.75	9.27	8.44	8.31	161	127
191	CE191	Cumple	3.14	1.90	2.00	208900	1095000	368800	264400	0.91	0.54	0.78	8.10	8.94	8.02	8.16	8.01	9.32	11.65	9.10	8.62	8.62	76	37
192	CE192	Cumple	2.76	1.60	1.70	217100	1150000	392000	236300	0.89	0.47	0.68	8.28	9.02	8.24	8.34	8.20	9.52	11.57	9.01	8.76	8.88	29	3
193	CE193	Cumple	3.44	2.42	2.51	272600	1171000	406100	346100	1.04	0.71	0.94	7.75	8.74	7.51	7.80	7.65	8.94	11.88	9.38	8.32	8.14	191	165
194	CE194	Cumple	3.05	2.06	2.15	242100	1199000	414100	294500	0.96	0.59	0.82	7.94	8.81	7.79	8.00	7.85	9.16	11.71	9.14	8.46	8.42	99	55
195	CE195	Cumple	2.77	1.74	1.83	245500	1244000	443800	257500	0.92	0.51	0.72	8.13	8.91	8.05	8.19	8.05	9.36	11.61	9.01	8.61	8.69	45	9
196	CE196	Cumple	3.66	2.64	2.71	333200	1306000	468000	392200	1.12	0.80	1.00	7.69	8.69	7.26	7.72	7.59	8.90	12.10	9.58	8.31	8.00	256	259
197	CE197	Cumple	3.22	2.24	2.32	282300	1317000	470100	327800	1.02	0.66	0.88	7.85	8.75	7.57	7.90	7.77	9.08	11.86	9.24	8.38	8.28	146	112
198	CE198	Cumple	2.83	1.90	1.98	278000	1350000	485400	289300	0.96	0.56	0.77	8.02	8.83	7.86	8.08	7.95	9.28	11.69	9.06	8.51	8.54	70	29
199	CE199	Cumple	3.56	2.80	2.80	383600	1385000	467400	401500	1.15	0.80	0.96	7.69	8.49	7.21	7.68	7.66	8.90	11.75	9.29	8.13	8.07	253	256
200	CE200	Cumple	3.15	2.41	2.41	346500	1389000	469000	357600	1.04	0.66	0.85	7.85	8.57	7.51	7.83	7.82	9.06	11.55	8.99	8.24	8.33	145	110

Tabla B.V. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 201 al 250.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	Mx _{yz} (ton*m)	My _{yz} (ton*m)	Mx _{yz} (ton*m)	My _{yz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
201	CE201	Cumple	2.79	2.07	2.08	345300	1416000	484400	352100	0.97	0.55	0.75	8.00	8.65	7.78	8.00	7.97	9.24	11.43	8.84	8.38	8.59	76	36
202	CE202	Cumple	3.82	3.10	3.06	488700	1563000	547600	502500	1.27	0.93	1.02	7.68	8.47	6.92	7.65	7.65	8.95	12.05	9.56	8.19	7.93	334	382
203	CE203	Cumple	3.38	2.65	2.61	409000	1543000	540600	420000	1.13	0.75	0.90	7.80	8.52	7.28	7.78	7.78	9.05	11.76	9.14	8.21	8.21	212	201
204	CE204	Cumple	3.00	2.27	2.25	394200	1553000	549800	401200	1.02	0.62	0.80	7.94	8.60	7.58	7.92	7.92	9.20	11.56	8.91	8.31	8.46	119	83
205	CE205	Cumple	4.09	3.45	3.37	624700	1773000	645300	638200	1.42	1.07	1.08	7.72	8.48	6.60	7.70	7.70	9.09	12.46	9.91	8.32	7.82	416	497
206	CE206	Cumple	3.62	2.92	2.85	491300	1719000	626000	501600	1.23	0.86	0.95	7.79	8.50	7.01	7.77	7.77	9.10	12.04	9.38	8.25	8.08	288	307
207	CE207	Cumple	3.22	2.49	2.44	450400	1709000	627700	457400	1.10	0.70	0.85	7.90	8.56	7.36	7.89	7.89	9.20	11.75	9.04	8.29	8.34	175	145
208	CE208	Cumple	3.90	3.48	3.30	636200	1784000	609600	646700	1.38	1.01	1.02	7.73	8.32	6.72	7.73	7.73	9.03	11.97	9.48	8.10	8.10	388	455
209	CE209	Cumple	3.48	3.00	2.83	535000	1738000	597100	543400	1.21	0.81	0.91	7.82	8.36	7.10	7.82	7.82	9.08	11.66	9.03	8.10	8.33	262	269
210	CE210	Cumple	3.12	2.55	2.40	505500	1726000	598100	510300	1.08	0.66	0.81	7.94	8.47	7.44	7.94	7.94	9.20	11.47	8.81	8.21	8.52	156	119
211	CE211	Cumple	4.18	3.91	3.68	732800	2051000	729000	744400	1.56	1.19	1.08	7.81	8.34	6.57	7.81	7.82	9.24	12.46	9.89	8.24	7.86	466	565
212	CE212	Cumple	3.73	3.33	3.11	651800	1959000	700600	659300	1.34	0.94	0.96	7.84	8.34	6.79	7.84	7.84	9.16	11.99	9.32	8.16	8.23	351	405
213	CE213	Cumple	3.34	2.84	2.64	584900	1916000	689300	589700	1.17	0.75	0.86	7.92	8.42	7.18	7.92	7.92	9.22	11.69	8.94	8.18	8.44	228	226
214	CE214	Cumple	4.48	4.33	4.11	680600	2341000	865900	719000	1.76	1.41	1.14	7.94	8.43	6.72	7.94	8.05	9.48	13.42	10.32	8.33	7.59	515	635
215	CE215	Cumple	3.99	3.72	3.45	797900	2218000	826000	804100	1.49	1.10	1.02	7.91	8.35	6.65	7.91	7.91	9.32	12.47	9.71	8.30	8.04	435	522
216	CE216	Cumple	3.56	3.18	2.94	686900	2143000	807900	691400	1.29	0.88	0.91	7.94	8.37	6.87	7.94	7.94	9.30	11.99	9.17	8.22	8.34	311	342
217	CE217	Cumple	3.78	2.26	2.43	262100	1282000	443600	341500	1.00	0.73	0.95	7.87	9.03	7.67	8.02	7.75	9.19	12.58	9.26	8.50	8.32	214	203
218	CE218	Cumple	3.44	1.91	2.06	219800	1328000	460200	293900	0.95	0.61	0.83	8.09	9.13	7.97	8.23	7.99	9.49	12.44	9.04	8.67	8.70	125	89
219	CE219	Cumple	2.99	1.62	1.75	221400	1392000	489900	261500	0.92	0.53	0.72	8.26	9.19	8.21	8.39	8.17	9.72	12.31	9.02	8.80	9.00	54	21
220	CE220	Cumple	3.69	2.52	2.68	315600	1434000	509800	390100	1.08	0.83	1.00	7.76	8.94	7.35	7.87	7.65	9.05	12.77	9.44	8.45	8.08	256	260
221	CE221	Cumple	3.27	2.11	2.26	256600	1459000	519400	328100	1.00	0.69	0.88	7.92	8.99	7.68	8.05	7.83	9.30	12.55	9.10	8.50	8.42	147	114
222	CE222	Cumple	2.97	1.78	1.91	251100	1509000	544200	284700	0.95	0.58	0.77	8.10	9.07	7.97	8.23	8.03	9.54	12.39	8.92	8.63	8.76	77	38
223	CE223	Cumple	3.97	2.82	2.96	407100	1613000	592700	447500	1.19	0.96	1.07	7.74	8.92	7.03	7.82	7.64	9.01	13.08	9.76	8.60	7.90	331	376
224	CE224	Cumple	3.49	2.34	2.48	303100	1610000	592900	367600	1.07	0.78	0.93	7.86	8.94	7.40	7.97	7.78	9.24	12.77	9.27	8.50	8.23	210	196
225	CE225	Cumple	3.06	1.96	2.10	285600	1643000	611300	312100	0.99	0.64	0.82	8.01	9.00	7.73	8.13	7.94	9.45	12.54	8.99	8.56	8.56	115	76
226	CE226	Cumple	3.81	2.96	3.02	427400	1714000	591000	455900	1.20	0.94	1.02	7.74	8.69	7.02	7.78	7.71	9.04	12.66	9.33	8.29	8.07	321	357
227	CE227	Cumple	3.36	2.50	2.56	366600	1708000	593300	381900	1.08	0.76	0.90	7.86	8.73	7.36	7.90	7.84	9.23	12.40	8.93	8.28	8.40	201	183
228	CE228	Cumple	2.97	2.08	2.14	361100	1733000	610000	369200	0.99	0.62	0.79	8.00	8.82	7.69	8.07	7.98	9.42	12.23	8.74	8.41	8.69	110	67
229	CE229	Cumple	4.12	3.34	3.38	616900	1955000	698800	635200	1.34	1.11	1.08	7.78	8.69	6.65	7.78	7.76	9.09	13.13	9.84	8.57	7.83	414	495
230	CE230	Cumple	3.63	2.79	2.84	445000	1908000	688000	460400	1.18	0.88	0.95	7.85	8.70	7.06	7.86	7.83	9.23	12.70	9.16	8.35	8.23	284	302
231	CE231	Cumple	3.22	2.34	2.39	416700	1905000	692800	425300	1.06	0.71	0.84	7.96	8.76	7.42	8.00	7.94	9.39	12.43	8.84	8.37	8.54	170	141
232	CE232	Cumple	4.44	3.79	3.82	609800	2233000	826900	705200	1.54	1.32	1.15	7.91	8.76	6.67	7.87	7.94	9.25	13.88	10.59	8.82	7.61	480	585
233	CE233	Cumple	3.92	3.14	3.17	580300	2145000	803000	594000	1.30	1.03	1.01	7.89	8.70	6.71	7.88	7.88	9.27	13.12	9.56	8.58	7.99	373	438
234	CE234	Cumple	3.47	2.64	2.67	487100	2112000	802300	496900	1.15	0.83	0.90	7.95	8.72	7.13	7.95	7.94	9.40	12.71	9.03	8.40	8.38	244	244
235	CE235	Cumple	4.18	3.73	3.66	784900	2251000	783200	799000	1.45	1.21	1.07	7.88	8.53	6.65	7.88	7.94	9.20	13.15	9.80	8.50	8.08	458	558
236	CE236	Cumple	3.72	3.11	3.04	591900	2156000	752000	601600	1.25	0.94	0.95	7.92	8.54	6.88	7.92	7.92	9.27	12.64	9.05	8.26	8.37	332	378
237	CE237	Cumple	3.32	2.59	2.53	554200	2142000	769500	559200	1.11	0.75	0.85	7.99	8.63	7.28	7.99	7.99	9.40	12.36	8.74	8.29	8.63	212	200
238	CE238	Cumple	4.52	4.26	4.20	658900	2601000	939400	726800	1.68	1.46	1.14	8.04	8.60	6.89	8.04	8.23	9.49	14.07	10.60	8.64	7.72	511	629
239	CE239	Cumple	4.02	3.59	3.49	790900	2468000	906500	799800	1.41	1.14	1.01	8.00	8.53	6.73	8.00	8.02	9.38	13.17	9.54	8.51	8.19	430	518
240	CE240	Cumple	3.58	2.95	2.85	651300	2390000	890900	655700	1.22	0.88	0.90	8.02	8.59	6.95	8.02	8.02	9.45	12.70	8.97	8.35	8.51	298	322
241	CE241	Cumple	4.90	4.93	4.92	745800	2992000	1125000	786000	1.96	1.80	1.22	8.28	8.80	7.48	8.28	8.66	9.80	15.23	10.99	8.44	7.29	554	685
242	CE242	Cumple	4.35	4.12	4.00	764100	2830000	1081000	775400	1.63	1.37	1.08	8.17	8.57	6.94	8.17	8.32	9.62	13.97	10.44	8.83	7.90	495	609
243	CE243	Cumple	3.86	3.37	3.24	805600	2681000	1038000	808400	1.35	1.05	0.96	8.10	8.58	6.82	8.10	8.10	9.54	13.20	9.39	8.58	8.30	392	462
244	CE244	Cumple	3.66	3.15	3.38	457000	967300	511800	524600	1.33	0.83	0.98	7.76	8.38	7.38	7.58	7.58	8.24	10.76	9.24	7.91	8.23	309	338
245	CE245	Cumple	3.33	2.79	3.01	387100	939400	446600	443100	1.23	0.73	0.89	7.89	8.45	7.60	7.73	7.73	8.47	10.59	9.05	8.05	8.33	206	190
246	CE246	Cumple	3.02	2.49	2.69	336500	935900	394200	378900	1.16	0.65	0.80	8.01	8.53	7.78	7.87	7.87	8.66	10.49	8.94	8.19	8.46	124	87
247	CE247	Cumple	3.85	3.42	3.59	541200	1118000	561200	602300	1.45	0.92	1.02	7.74	8.30	7.11	7.58	7.58	8.13	11.02	9.42	7.90	8.29	369	431
248	CE248	Cumple	3.49	3.03	3.19	449000	1069000	483700	503800	1.32	0.80	0.93	7.84	8.36	7.37	7.70	7.70	8.39	10.74	9.11	8.02	8.34	263	272
249	CE249	Cumple	3.18	2.70	2.86	391100	1052000	423300	430500	1.22	0.70	0.84	7.95	8.44	7.59	7.83	7.83	8.58	10.56	8.95	8.14	8.43	169	139
250	CE250	Cumple	4.04	3.73	3.85	674300	1291000	619600	717000	1.58	1.03	1.07	7.76	8.24	6.80	7.60	7.60	7.98	11.37	9.72	7.90	8.42	430	516

Tabla B. VI. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 251 al 300.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balaceo (°)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
251	CE251	Cumple	3.67	3.28	3.41	526900	1215000	525800	571900	1.42	0.88	0.96	7.83	8.30	7.12	7.69	7.69	8.31	10.99	9.26	7.99	8.38	327	369
252	CE252	Cumple	3.35	2.91	3.04	452200	1180000	454900	484900	1.29	0.77	0.87	7.92	8.37	7.38	7.80	7.80	8.53	10.72	9.01	8.11	8.43	222	217
253	CE253	Cumple	3.90	3.89	3.85	706300	1342000	628300	737600	1.61	1.01	1.01	7.76	8.08	6.81	7.67	7.67	8.23	10.90	9.29	8.13	8.58	419	504
254	CE254	Cumple	3.57	3.44	3.43	575600	1267000	537200	599800	1.44	0.87	0.92	7.84	8.14	7.11	7.76	7.76	8.45	10.58	8.93	8.19	8.53	316	351
255	CE255	Cumple	3.28	3.08	3.08	505900	1229000	467800	526600	1.32	0.77	0.84	7.93	8.21	7.35	7.87	7.87	8.60	10.37	8.74	8.26	8.56	219	212
256	CE256	Cumple	4.10	4.32	4.16	952700	1569000	712600	971100	1.78	1.15	1.06	7.79	8.04	6.44	7.70	7.73	8.11	11.33	9.69	8.18	8.82	482	590
257	CE257	Cumple	3.76	3.79	3.68	707400	1455000	596200	727400	1.57	0.98	0.96	7.84	8.08	6.81	7.77	7.77	8.39	10.91	9.14	8.20	8.63	389	456
258	CE258	Cumple	3.45	3.37	3.29	598900	1393000	511200	617900	1.42	0.85	0.88	7.91	8.14	7.11	7.86	7.86	8.58	10.60	8.84	8.26	8.61	284	301
259	CE259	Cumple	4.31	4.77	4.52	1227000	1833000	825700	1263000	1.97	1.31	1.10	7.89	8.03	6.34	7.74	7.84	8.18	11.71	10.31	8.07	9.16	533	661
260	CE260	Cumple	3.95	4.19	3.97	915800	1676000	668900	930500	1.73	1.10	1.01	7.87	8.04	6.47	7.81	7.81	8.30	11.35	9.50	8.22	8.81	453	551
261	CE261	Cumple	3.63	3.71	3.53	719900	1580000	562300	736000	1.54	0.94	0.92	7.91	8.09	6.83	7.87	7.87	8.54	10.91	9.01	8.26	8.69	354	409
262	CE262	Cumple	4.10	4.73	4.34	1195000	1795000	793700	1210000	1.91	1.21	1.04	7.81	7.91	6.36	7.78	7.86	8.29	11.26	9.58	8.43	9.14	505	619
263	CE263	Cumple	3.77	4.17	3.85	887900	1651000	658300	904200	1.68	1.03	0.95	7.86	7.94	6.64	7.85	7.85	8.51	10.82	9.00	8.40	8.87	419	502
264	CE264	Cumple	3.49	3.73	3.45	744600	1567000	561000	761100	1.51	0.89	0.87	7.92	8.00	6.94	7.91	7.91	8.65	10.48	8.67	8.42	8.78	322	361
265	CE265	Cumple	4.31	5.25	4.77	1386000	2126000	945500	1450000	2.14	1.39	1.09	7.93	7.93	6.43	7.85	8.01	8.52	11.72	10.33	8.35	9.58	552	684
266	CE266	Cumple	3.97	4.62	4.18	1187000	1922000	755400	1197000	1.86	1.17	0.99	7.91	7.91	6.45	7.89	7.94	8.45	11.32	9.44	8.46	9.13	481	587
267	CE267	Cumple	3.66	4.10	3.72	918900	1796000	628600	930900	1.65	1.00	0.91	7.94	7.95	6.64	7.94	7.94	8.63	10.84	8.89	8.46	8.91	393	464
268	CE268	Cumple	4.57	5.81	5.31	1534000	2516000	1162000	1595000	2.44	1.61	1.18	8.09	8.17	6.75	8.01	8.26	12.99	11.20	7.92	9.21	581	710	
269	CE269	Cumple	4.18	5.16	4.60	1455000	2259000	886100	1473000	2.08	1.34	1.04	8.02	7.89	6.53	7.97	8.12	8.56	11.81	10.11	8.45	9.55	533	663
270	CE270	Cumple	3.85	4.51	4.03	1184000	2064000	714400	1190000	1.81	1.13	0.95	7.99	7.91	6.53	7.99	8.02	8.60	11.37	9.30	8.50	9.12	455	554
271	CE271	Cumple	3.89	3.34	3.62	530000	1248000	677200	618900	1.44	0.97	1.03	7.77	8.56	7.23	7.57	7.57	8.61	11.83	9.55	7.96	8.25	382	450
272	CE272	Cumple	3.53	2.92	3.19	432600	1198000	585300	519500	1.31	0.85	0.93	7.87	8.62	7.49	7.69	7.69	8.91	11.62	9.21	8.13	8.31	272	287
273	CE273	Cumple	3.21	2.57	2.83	371600	1185000	513200	443500	1.22	0.75	0.84	7.99	8.69	7.71	7.83	7.83	9.13	11.46	9.01	8.30	8.43	173	143
274	CE274	Cumple	4.10	3.73	3.94	689000	1463000	759000	741500	1.59	1.10	1.08	7.79	8.48	6.87	7.59	7.59	8.40	12.13	9.94	7.92	8.41	449	545
275	CE275	Cumple	3.72	3.24	3.46	511500	1376000	644600	591900	1.43	0.95	0.98	7.85	8.53	7.19	7.69	7.69	8.79	11.85	9.39	8.05	8.34	344	397
276	CE276	Cumple	3.38	2.84	3.06	430700	1339000	558300	501900	1.30	0.82	0.88	7.95	8.59	7.46	7.80	7.80	9.04	11.61	9.09	8.21	8.41	235	231
277	CE277	Cumple	4.33	4.18	4.32	1030000	1726000	864500	1066000	1.77	1.26	1.12	7.86	8.43	6.44	7.64	7.73	8.04	12.48	10.54	7.96	8.73	513	630
278	CE278	Cumple	3.94	3.60	3.76	648600	1585000	716300	692100	1.57	1.06	1.02	7.87	8.46	6.85	7.72	7.72	8.62	12.17	9.73	8.00	8.45	417	498
279	CE279	Cumple	3.59	3.14	3.31	508200	1516000	610600	567700	1.40	0.91	0.92	7.93	8.51	7.18	7.80	7.80	8.96	11.86	9.24	8.16	8.43	307	331
280	CE280	Cumple	4.14	4.23	4.24	962400	1766000	867200	996800	1.76	1.21	1.06	7.82	8.26	6.53	7.71	7.79	8.55	11.98	9.82	8.22	8.83	492	607
281	CE281	Cumple	3.79	3.67	3.73	667000	1641000	727700	710800	1.56	1.03	0.97	7.87	8.28	6.89	7.78	7.78	8.89	11.68	9.21	8.27	8.63	397	470
282	CE282	Cumple	3.47	3.24	3.31	556500	1576000	625300	597800	1.41	0.89	0.88	7.94	8.34	7.19	7.87	7.87	9.09	11.44	8.86	8.37	8.61	287	306
283	CE283	Cumple	4.38	4.79	4.70	1281000	2101000	1022000	1358000	1.97	1.39	1.11	7.93	8.26	6.44	7.77	7.97	8.24	12.38	10.57	8.26	9.35	545	674
284	CE284	Cumple	4.01	4.14	4.09	938000	1910000	829600	958200	1.73	1.17	1.01	7.91	8.24	6.50	7.83	7.89	8.75	12.08	9.66	8.29	8.85	469	571
285	CE285	Cumple	3.67	3.62	3.60	690700	1803000	697800	714200	1.54	1.00	0.92	7.95	8.27	6.86	7.88	7.88	9.05	11.76	9.08	8.36	8.70	368	429
286	CE286	Cumple	4.64	5.49	5.28	1264000	2535000	1241000	1374000	2.31	1.61	1.20	8.11	8.45	6.76	7.95	8.21	8.93	13.55	11.63	7.88	9.36	577	704
287	CE287	Cumple	4.24	4.71	4.53	1315000	2246000	964900	1349000	1.93	1.35	1.06	8.02	8.21	6.54	7.91	8.08	8.48	12.52	10.36	8.32	9.30	528	650
288	CE288	Cumple	3.88	4.06	3.94	928100	2069000	788900	941900	1.70	1.13	0.97	8.00	8.23	6.54	7.94	7.98	8.92	12.15	9.51	8.33	8.87	445	537
289	CE289	Cumple	4.35	5.24	4.91	1361000	2410000	1147000	1462000	2.10	1.46	1.09	7.97	8.14	6.58	7.89	8.18	8.59	12.33	10.44	8.63	9.85	556	687
290	CE290	Cumple	4.00	4.53	4.27	1204000	2170000	923600	1213000	1.83	1.23	0.99	7.94	8.10	6.49	7.93	8.04	8.95	12.00	9.50	8.56	9.18	489	603
291	CE291	Cumple	3.68	3.99	3.77	881800	2034000	771200	895300	1.63	1.05	0.91	7.97	8.13	6.71	7.97	7.98	9.16	11.64	8.90	8.57	8.95	399	475
292	CE292	Cumple	4.63	5.94	5.58	1628000	2892000	1435000	1688000	2.46	1.73	1.19	8.16	8.45	7.06	8.08	8.48	9.38	13.96	11.58	8.44	9.77	583	714
293	CE293	Cumple	4.24	5.17	4.77	1438000	2588000	1105000	1495000	2.07	1.42	1.05	8.08	8.11	6.70	8.03	8.30	8.73	12.51	10.35	8.66	9.79	542	668
294	CE294	Cumple	3.90	4.48	4.15	1236000	2363000	892800	1238000	1.80	1.19	0.96	8.04	8.10	6.58	8.04	8.14	9.08	12.11	9.42	8.59	9.21	471	576
295	CE295	Cumple	4.97	7.13	6.57	2071000	3639000	1909000	2081000	2.83	2.15	1.30	8.41	8.83	8.48	8.41	9.29	10.29	14.98	12.80	9.33	9.33	598	725
296	CE296	Cumple	4.52	5.87	5.43	1700000	3084000	1371000	1728000	2.41	1.67	1.13	8.28	8.36	7.20	8.24	8.64	9.54	14.06	11.57	8.44	9.91	574	702
297	CE297	Cumple	4.14	5.08	4.63	1517000	2774000	1060000	1529000	2.02	1.38	1.01	8.18	8.10	6.78	8.16	8.39	8.89	12.68	10.25	8.68	9.72	525	648
298	CE298	Cumple	4.13	3.64	3.95	647900	1590000	890600	738300	1.56	1.14	1.08	7.81	8.74	7.02	7.59	7.62	8.95	12.80	9.89	7.89	8.28	452	548
299	CE299	Cumple	3.75	3.12	3.45	485300	1499000	761300	605600	1.40	0.98	0.98	7.88	8.79	7.34	7.69	7.69	9.24	12.45	9.42	8.01	8.28	347	400
300	CE300	Cumple	3.41	2.73	3.03	406200	1466000	662800	516200	1.28	0.85	0.88	7.98	8.85	7.60	7.82	7.82	9.46	12.20	9.15	8.18	8.38	240	238

Tabla B.VII. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 301 al 350.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
301	CE301	Cumple	4.37	4.18	4.40	1069000	1902000	1025000	1120000	1.74	1.32	1.13	7.88	8.68	6.54	7.66	7.79	8.65	13.27	10.45	8.01	8.56	519	638
302	CE302	Cumple	3.97	3.54	3.80	609200	1742000	854500	703700	1.54	1.11	1.03	7.91	8.70	6.95	7.72	7.74	9.13	12.85	9.72	7.97	8.37	424	510
303	CE303	Cumple	3.61	3.06	3.33	470700	1671000	731700	584100	1.39	0.95	0.93	7.97	8.75	7.28	7.81	7.81	9.37	12.47	9.28	8.11	8.39	312	345
304	CE304	Cumple	4.64	4.88	4.98	1125000	2334000	1214000	1278000	2.02	1.53	1.20	8.08	8.65	6.59	7.80	8.07	8.32	13.43	11.73	8.37	9.50	564	692
305	CE305	Cumple	4.22	4.04	4.23	963700	2042000	973900	1007000	1.71	1.28	1.07	7.98	8.65	6.50	7.80	7.90	8.93	13.38	10.23	8.08	8.56	497	610
306	CE306	Cumple	3.84	3.45	3.67	588200	1911000	815300	666500	1.52	1.08	0.98	8.00	8.68	6.91	7.84	7.84	9.31	12.89	9.56	8.05	8.45	394	467
307	CE307	Cumple	4.38	4.69	4.75	1341000	2290000	1189000	1426000	1.90	1.43	1.11	7.94	8.49	6.53	7.81	8.07	8.92	13.11	10.33	8.48	9.14	546	675
308	CE308	Cumple	4.01	4.00	4.11	836700	2083000	976700	871600	1.68	1.21	1.01	7.94	8.45	6.63	7.85	7.95	9.34	12.73	9.51	8.31	8.80	465	564
309	CE309	Cumple	3.67	3.48	3.60	609600	1975000	827600	667000	1.50	1.03	0.92	7.99	8.48	6.98	7.91	7.92	9.50	12.31	9.02	8.35	8.69	364	416
310	CE310	Cumple	4.67	5.51	5.44	1176000	2807000	1460000	1326000	2.28	1.67	1.20	8.15	8.67	6.93	7.97	8.36	8.85	14.19	12.10	8.45	10.38	574	703
311	CE311	Cumple	4.27	4.62	4.62	1368000	2477000	1151000	1411000	1.88	1.40	1.06	8.06	8.44	6.64	7.96	8.20	9.14	13.30	10.21	8.47	9.16	531	656
312	CE312	Cumple	3.91	3.95	4.00	859600	2287000	947300	881300	1.66	1.18	0.97	8.04	8.43	6.57	7.97	8.06	9.48	12.84	9.41	8.36	8.88	449	543
313	CE313	Cumple	5.00	6.79	6.46	2242000	3555000	1912000	2273000	2.62	2.13	1.31	8.36	8.99	8.33	8.32	9.14	9.94	15.27	12.18	8.88	8.96	599	727
314	CE314	Cumple	4.56	5.42	5.28	1196000	2987000	1400000	1324000	2.23	1.63	1.14	8.28	8.57	7.08	8.13	8.53	8.95	14.18	11.95	8.55	10.34	565	694
315	CE315	Cumple	4.17	4.55	4.49	1391000	2676000	1107000	1401000	1.85	1.36	1.02	8.16	8.42	6.74	8.09	8.31	9.33	13.47	10.09	8.47	9.17	515	636
316	CE316	Cumple	4.62	5.84	5.66	1399000	3150000	1644000	1518000	2.37	1.75	1.16	8.18	8.64	7.23	8.08	8.62	9.17	14.40	12.00	9.10	10.93	579	706
317	CE317	Cumple	4.24	5.00	4.82	1469000	2813000	1289000	1547000	1.97	1.46	1.04	8.10	8.32	6.81	8.08	8.41	9.43	13.24	10.02	8.86	9.63	540	667
318	CE318	Cumple	3.90	4.31	4.18	1127000	2588000	1054000	1133000	1.74	1.22	0.95	8.08	8.28	6.64	8.07	8.23	9.67	12.74	9.19	8.67	9.25	465	563
319	CE319	Cumple	4.96	7.14	6.73	1924000	3926000	2187000	1959000	2.75	2.20	1.29	8.40	9.08	8.79	8.40	9.60	10.49	15.64	12.21	9.55	9.75	597	724
320	CE320	Cumple	4.54	5.86	5.59	1599000	3411000	1618000	1647000	2.36	1.74	1.12	8.33	8.57	7.48	8.28	8.83	9.46	14.80	12.05	9.08	10.89	571	701
321	CE321	Cumple	4.16	4.99	4.74	1529000	3063000	1266000	1572000	1.95	1.43	1.00	8.23	8.30	6.94	8.22	8.55	9.58	13.47	10.02	8.88	9.68	526	649
322	CE322	Cumple	5.45	10.25	9.33	6506000	4435000	2978000	6772000	3.76	3.15	1.46	8.65	11.20	12.03	8.60	11.93	10.04	20.17	21.89	19.26	20.05	606	728
323	CE323	Cumple	4.89	7.10	6.62	1905000	4165000	2126000	1926000	2.75	2.15	1.24	8.61	8.98	9.08	8.61	9.88	10.75	15.96	12.52	9.43	9.74	594	723
324	CE324	Cumple	4.46	5.87	5.51	1844000	3688000	1584000	1819000	2.34	1.72	1.08	8.49	8.52	7.70	8.47	9.03	9.74	15.08	12.02	9.06	10.81	567	696
325	CE325	Cumple	3.29	2.66	2.81	389600	953500	435100	449700	1.16	0.70	0.88	7.90	8.50	7.67	7.75	7.75	8.49	10.61	9.07	8.07	8.37	184	158
326	CE326	Cumple	2.95	2.35	2.49	334200	952500	378600	378500	1.08	0.61	0.78	8.04	8.58	7.86	7.90	7.90	8.69	10.51	8.95	8.23	8.51	101	58
327	CE327	Cumple	2.65	2.08	2.21	295500	969300	333100	329500	1.03	0.54	0.70	8.17	8.66	8.04	8.05	8.05	8.87	10.48	8.90	8.38	8.66	51	15
328	CE328	Cumple	3.45	2.86	2.97	449200	1083000	471200	510900	1.24	0.77	0.91	7.86	8.43	7.47	7.71	7.71	8.42	10.78	9.15	8.04	8.37	239	237
329	CE329	Cumple	3.11	2.52	2.63	387000	1067000	406100	430200	1.14	0.67	0.82	7.98	8.50	7.69	7.86	7.86	8.63	10.59	8.98	8.18	8.48	140	100
330	CE330	Cumple	2.80	2.23	2.34	344800	1074000	354700	367800	1.07	0.59	0.73	8.11	8.58	7.88	8.00	8.00	8.81	10.51	8.89	8.32	8.61	74	35
331	CE331	Cumple	3.63	3.08	3.16	523300	1229000	511700	579000	1.34	0.85	0.95	7.84	8.37	7.24	7.70	7.70	8.35	11.03	9.30	8.01	8.40	299	324
332	CE332	Cumple	3.27	2.71	2.79	445600	1194000	435800	484500	1.22	0.73	0.85	7.95	8.44	7.50	7.83	7.83	8.58	10.73	9.02	8.14	8.47	188	164
333	CE333	Cumple	2.95	2.40	2.47	397800	1188000	377300	416400	1.13	0.63	0.77	8.06	8.51	7.72	7.96	7.96	8.76	10.57	8.90	8.27	8.59	107	65
334	CE334	Cumple	3.54	3.25	3.21	574300	1290000	524900	612700	1.38	0.85	0.91	7.85	8.21	7.20	7.78	7.78	8.48	10.64	8.98	8.20	8.56	297	319
335	CE335	Cumple	3.22	2.88	2.85	501500	1249000	450100	521000	1.25	0.73	0.82	7.95	8.28	7.45	7.89	7.89	8.65	10.42	8.78	8.29	8.60	191	167
336	CE336	Cumple	2.92	2.57	2.54	455500	1236000	392100	471300	1.16	0.64	0.74	8.07	8.37	7.67	8.01	8.01	8.79	10.31	8.68	8.39	8.68	113	71
337	CE337	Cumple	3.73	3.56	3.43	698300	1478000	582100	718800	1.51	0.96	0.95	7.85	8.16	6.93	7.79	7.79	8.43	10.97	9.19	8.21	8.65	367	422
338	CE338	Cumple	3.39	3.14	3.04	588700	1412000	490900	607200	1.35	0.81	0.86	7.93	8.23	7.23	7.88	7.88	8.62	10.62	8.86	8.28	8.64	254	257
339	CE339	Cumple	3.09	2.79	2.70	530100	1382000	425600	545200	1.23	0.70	0.78	8.03	8.30	7.48	7.99	7.99	8.77	10.42	8.71	8.37	8.69	159	123
340	CE340	Cumple	3.92	3.93	3.70	891600	1698000	652300	907300	1.67	1.08	1.00	7.87	8.12	6.60	7.82	7.82	8.35	11.41	9.52	8.22	8.81	434	521
341	CE341	Cumple	3.56	3.43	3.25	698200	1596000	538600	714900	1.47	0.91	0.90	7.93	8.18	6.98	7.89	7.89	8.59	10.93	9.03	8.28	8.70	322	360
342	CE342	Cumple	3.25	3.04	2.88	614000	1546000	493100	628200	1.32	0.77	0.81	8.01	8.25	7.28	7.97	7.97	8.74	10.60	8.77	8.36	8.71	217	209
343	CE343	Cumple	3.75	3.93	3.62	875200	1684000	645000	893700	1.63	1.02	0.95	7.87	8.02	6.74	7.86	7.86	8.55	10.88	9.05	8.40	8.88	401	476
344	CE344	Cumple	3.43	3.48	3.20	730300	1592000	540300	747700	1.45	0.87	0.86	7.94	8.09	7.07	7.94	7.94	8.69	10.51	8.70	8.44	8.80	296	318
345	CE345	Cumple	3.14	3.11	2.85	657400	1544000	463100	671800	1.31	0.75	0.78	8.03	8.16	7.34	8.03	8.03	8.80	10.28	8.55	8.48	8.80	199	179
346	CE346	Cumple	3.94	4.35	3.93	1159000	1956000	739300	1171000	1.82	1.17	0.99	7.91	7.99	6.55	7.90	7.94	8.50	11.40	9.45	8.45	9.12	469	569
347	CE347	Cumple	3.60	3.81	3.45	887000	1819000	603400	900900	1.58	0.98	0.90	7.95	8.04	6.78	7.95	7.95	8.69	10.88	8.90	8.47	8.91	364	418
348	CE348	Cumple	3.30	3.38	3.06	770200	1742000	539200	782600	1.41	0.83	0.81	8.02	8.11	7.10	8.02	8.02	8.80	10.51	8.61	8.49	8.86	262	267
349	CE349	Cumple	4.15	4.77	4.29	1410000	2265000	867400	1435000	2.01	1.33	1.03	8.01	8.02	6.60	7.96	8.09	8.49	11.96	10.12	8.44	9.47	521	642
350	CE350	Cumple	3.78	4.19	3.74	1121000	2083000	683100	1130000	1.75	1.10	0.94	8.00	8.01	6.64	8.00	8.01	8.66	11.36	9.24	8.49			

Tabla B.VIII. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 351 al 400.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balaceo (°)	M _{xvz} (ton*m)	M _{yvz} (ton*m)	M _{xvz} (ton*m)	M _{yvz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE	
351	CE351	Cumple	3.46	3.69	3.29	911400	1968000	632600	920800	1.53	0.93	0.85	8.04	8.06	6.83	8.04	8.04	8.81	10.85	8.78	8.13	8.51	8.95	327	368
352	CE352	Cumple	3.49	2.76	2.96	435300	1212000	569500	527300	1.24	0.81	0.92	7.89	8.66	7.57	7.71	7.71	8.92	11.63	9.24	8.13	8.35	246	247	
353	CE353	Cumple	3.14	2.41	2.60	368900	1202000	492100	443400	1.14	0.70	0.82	8.02	8.73	7.80	7.86	7.86	9.15	11.46	9.03	8.31	8.49	142	106	
354	CE354	Cumple	2.82	2.11	2.29	322600	1220000	431000	381400	1.08	0.62	0.73	8.14	8.80	8.00	8.01	8.01	9.34	11.40	8.92	8.49	8.65	73	34	
355	CE355	Cumple	3.68	3.03	3.20	509400	1389000	626900	599500	1.35	0.91	0.96	7.86	8.59	7.30	7.70	7.70	8.82	11.88	9.42	8.07	8.37	318	354	
356	CE356	Cumple	3.31	2.64	2.80	425600	1354000	534600	501800	1.22	0.78	0.86	7.97	8.65	7.57	7.83	7.83	9.09	11.62	9.09	8.25	8.47	200	181	
357	CE357	Cumple	2.98	2.31	2.46	375900	1356000	463400	427800	1.13	0.68	0.77	8.09	8.71	7.80	7.97	7.97	9.26	11.46	8.93	8.40	8.59	111	68	
358	CE358	Cumple	3.90	3.35	3.47	631900	1595000	695700	694300	1.48	1.03	1.01	7.88	8.54	6.98	7.72	7.72	8.67	12.19	9.74	8.01	8.46	391	461	
359	CE359	Cumple	3.50	2.89	3.02	496400	1527000	583100	566000	1.32	0.87	0.90	7.95	8.58	7.31	7.82	7.82	8.99	11.84	9.24	8.17	8.47	268	284	
360	CE360	Cumple	3.16	2.52	2.65	434900	1508000	499400	481100	1.20	0.74	0.81	8.05	8.64	7.59	7.94	7.94	9.22	11.59	8.97	8.35	8.57	160	124	
361	CE361	Cumple	3.75	3.46	3.48	657900	1665000	710200	722900	1.50	1.01	0.96	7.88	8.36	7.00	7.79	7.79	8.93	11.74	9.24	8.29	8.65	376	443	
362	CE362	Cumple	3.40	3.02	3.05	548200	1597000	600400	601400	1.34	0.86	0.86	7.96	8.41	7.30	7.89	7.89	9.13	11.46	8.88	8.39	8.64	259	265	
363	CE363	Cumple	3.09	2.65	2.70	497100	1573000	518100	521800	1.22	0.74	0.78	8.06	8.48	7.55	8.00	8.00	9.27	11.27	8.70	8.50	8.71	161	128	
364	CE364	Cumple	3.97	3.87	3.81	903500	1932000	808800	926200	1.67	1.15	1.00	7.92	8.32	6.63	7.84	7.88	8.79	12.11	9.68	8.27	8.85	452	547	
365	CE365	Cumple	3.60	3.35	3.31	666500	1820000	668100	691400	1.47	0.96	0.91	7.97	8.36	7.01	7.91	7.91	9.07	11.75	9.09	8.36	8.72	335	383	
366	CE366	Cumple	3.28	2.93	2.92	583100	1768000	566900	603700	1.31	0.82	0.82	8.04	8.42	7.31	7.99	7.99	9.26	11.48	8.76	8.49	8.74	222	215	
367	CE367	Cumple	4.20	4.33	4.19	1273000	2244000	939300	1301000	1.85	1.32	1.05	8.01	8.33	6.61	7.91	8.05	8.57	12.64	10.34	8.28	9.18	514	633	
368	CE368	Cumple	3.81	3.73	3.62	862700	2080000	752300	880600	1.62	1.09	0.95	8.01	8.32	6.66	7.95	7.96	9.00	12.14	9.45	8.34	8.85	412	490	
369	CE369	Cumple	3.46	3.25	3.16	692700	1989000	645500	710600	1.43	0.92	0.86	8.05	8.36	7.04	8.01	8.01	9.21	11.75	8.95	8.43	8.78	297	320	
370	CE370	Cumple	3.97	4.26	4.01	1168000	2207000	904300	1180000	1.79	1.22	0.99	7.95	8.18	6.59	7.94	8.03	8.98	12.02	9.52	8.54	9.18	477	580	
371	CE371	Cumple	3.62	3.71	3.49	848400	2060000	741000	864700	1.56	1.02	0.90	7.99	8.21	6.84	7.98	7.98	9.19	11.64	8.90	8.57	8.95	370	433	
372	CE372	Cumple	3.31	3.27	3.08	737000	1981000	625500	752100	1.39	0.87	0.81	8.06	8.26	7.16	8.05	8.05	9.32	11.35	8.57	8.61	264	276		
373	CE373	Cumple	4.21	4.80	4.47	1432000	2599000	1080000	1495000	2.00	1.42	1.04	8.07	8.22	6.75	8.03	8.26	8.81	12.64	10.27	8.62	9.68	533	662	
374	CE374	Cumple	3.83	4.15	3.85	1150000	2383000	853900	1157000	1.74	1.17	0.94	8.05	8.18	6.67	8.05	8.12	9.14	12.10	9.34	8.59	9.18	443	536	
375	CE375	Cumple	3.50	3.63	3.36	897500	2254000	707800	906600	1.53	0.98	0.85	8.08	8.21	6.85	8.08	8.08	9.30	11.68	8.80	8.62	9.01	339	387	
376	CE376	Cumple	4.48	5.40	5.05	1411000	3061000	1328000	1504000	2.31	1.66	1.12	8.27	8.45	7.14	8.19	8.54	9.20	13.98	11.69	8.46	10.26	565	693	
377	CE377	Cumple	4.06	4.69	4.29	1527000	2781000	1008000	1530000	1.95	1.35	0.98	8.17	8.18	6.83	8.16	8.35	9.01	12.68	10.04	8.65	9.61	507	623	
378	CE378	Cumple	3.70	4.04	3.69	1155000	2572000	841200	1157000	1.68	1.11	0.89	8.15	8.18	6.76	8.15	8.18	9.29	12.15	9.18	8.63	9.19	411	487	
379	CE379	Cumple	3.71	2.92	3.18	488900	1511000	739600	615200	1.32	0.94	0.97	7.89	8.83	7.43	7.71	7.71	9.26	12.47	9.44	8.08	8.32	321	356	
380	CE380	Cumple	3.33	2.51	2.77	404100	1483000	634500	516700	1.20	0.81	0.86	8.01	8.88	7.69	7.85	7.85	9.50	12.19	9.14	8.22	8.44	204	186	
381	CE381	Cumple	2.99	2.19	2.42	349600	1496000	553400	440300	1.12	0.70	0.77	8.13	8.94	7.93	7.99	7.99	9.69	12.03	8.98	8.40	8.58	114	75	
382	CE382	Cumple	3.92	3.29	3.50	597700	1751000	829100	707900	1.46	1.07	1.01	7.91	8.76	7.08	7.73	7.73	9.18	12.86	9.73	8.11	8.39	397	472	
383	CE383	Cumple	3.53	2.81	3.03	463300	1683000	698900	586100	1.30	0.91	0.91	7.99	8.80	7.40	7.84	7.84	9.44	12.45	9.27	8.15	8.43	275	290	
384	CE384	Cumple	3.17	2.43	2.64	400900	1669000	601600	496900	1.19	0.78	0.81	8.08	8.86	7.68	7.96	7.96	9.62	12.18	9.01	8.32	8.55	166	137	
385	CE385	Cumple	4.17	3.74	3.89	891800	2044000	942800	939500	1.63	1.23	1.06	7.98	8.72	6.67	7.81	7.87	9.00	13.40	10.23	8.22	8.56	476	579	
386	CE386	Cumple	3.75	3.15	3.33	559100	1915000	775900	663600	1.43	1.02	0.95	8.00	8.74	7.07	7.86	7.86	9.35	12.85	9.52	8.19	8.48	354	408	
387	CE387	Cumple	3.37	2.70	2.88	462400	1867000	657200	554500	1.28	0.86	0.86	8.07	8.79	7.40	7.95	7.95	9.58	12.43	9.12	8.24	8.54	234	230	
388	CE388	Cumple	3.97	3.75	3.82	805600	2106000	952200	844300	1.62	1.18	1.00	7.95	8.53	6.75	7.86	7.93	9.39	12.76	9.52	8.32	8.81	447	539	
389	CE389	Cumple	3.60	3.22	3.31	593500	1995000	793200	669200	1.42	0.99	0.90	8.00	8.55	7.11	7.93	7.93	9.55	12.31	9.01	8.37	8.71	329	374	
390	CE390	Cumple	3.27	2.80	2.90	526200	1948000	677800	572800	1.28	0.84	0.82	8.08	8.61	7.41	8.02	8.02	9.68	12.01	8.73	8.48	8.73	218	211	
391	CE391	Cumple	4.23	4.29	4.29	1334000	2482000	1119000	1364000	1.81	1.38	1.05	8.05	8.54	6.69	7.96	8.16	9.24	13.40	10.17	8.44	9.11	517	637	
392	CE392	Cumple	3.84	3.63	3.67	792100	2299000	903900	819900	1.58	1.14	0.95	8.05	8.51	6.73	7.98	8.04	9.54	12.81	9.36	8.38	8.87	414	494	
393	CE393	Cumple	3.48	3.13	3.18	631200	2204000	756000	657500	1.40	0.95	0.86	8.09	8.55	7.10	8.04	8.04	9.68	12.34	8.89	8.45	8.80	298	321	
394	CE394	Cumple	4.51	4.97	4.89	1145000	2961000	1352000	1308000	2.11	1.62	1.12	8.26	8.65	7.07	8.10	8.48	8.76	14.03	11.64	8.69	10.00	556	686	
395	CE395	Cumple	4.08	4.16	4.11	1284000	2671000	1051000	1295000	1.77	1.32	1.00	8.15	8.50	6.78	8.09	8.25	9.45	13.45	9.94	8.45	9.12	488	600	
396	CE396	Cumple	3.70	3.53	3.52	805000	2505000	855000	823300	1.54	1.08	0.90	8.14	8.51	6.76	8.09	8.12	9.67	12.84	9.21	8.43	8.92	380	448	
397	CE397	Cumple	4.21	4.70	4.54	1489000	2851000	1261000	1571000	1.93	1.46	1.03	8.10	8.40	6.87	8.08	8.39	9.48	13.30	9.97	8.85	9.62	530	652	
398	CE398	Cumple	3.84	4.00	3.87	1039000	2611000	1010000	1053000	1.67	1.20	0.93	8.09	8.35	6.72	8.09	8.20	9.72	12.72	9.14	8.67	9.23	439	530	
399	CE399	Cumple	3.50	3.47	3.36	816600	2484000	839300	833200	1.47	1.00	0.85	8.12	8.38	6.93	8.12	8.13	9.78	12.23	8.66	8.67	9.06	333	379	
400	CE400	Cumple	4.50	5.39	5.21	1297000	3383000	1568000	1441000	2.25	1.73	1.11	8.32	8.64	7.42	8.24	8.76	9.15	14.43	11.71	9.16	10.63	562	690	

Tabla B.IX. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 401 al 450.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
401	CE401	Cumple	4.09	4.60	4.39	1580000	3070000	1206000	1591000	1.89	1.41	0.98	8.22	8.37	6.96	8.22	8.49	9.68	13.45	9.84	8.83	9.62	508	625
402	CE402	Cumple	3.73	3.94	3.75	1090000	2853000	971200	1093000	1.64	1.15	0.89	8.20	8.35	6.81	8.20	8.30	9.83	12.81	9.04	8.71	9.28	412	489
403	CE403	Cumple	4.85	6.51	6.19	2253000	4118000	2046000	2349000	2.55	2.18	1.22	8.57	9.00	8.81	8.57	9.63	10.39	16.20	11.96	9.23	9.73	592	721
404	CE404	Cumple	4.38	5.31	5.05	1395000	3625000	1490000	1485000	2.20	1.67	1.05	8.45	8.55	7.55	8.41	8.90	9.32	14.46	11.50	9.12	10.55	549	678
405	CE405	Cumple	3.98	4.50	4.24	1637000	3305000	1153000	1629000	1.84	1.35	0.94	8.34	8.36	7.03	8.34	8.58	9.84	13.57	9.71	8.82	9.60	485	592
406	CE406	Cumple	2.95	2.28	2.38	342100	965700	374700	390800	1.02	0.59	0.78	8.04	8.61	7.90	7.90	7.90	8.70	10.55	8.99	8.23	8.54	97	52
407	CE407	Cumple	2.62	2.01	2.09	298900	984600	325000	340700	0.96	0.52	0.69	8.19	8.69	8.08	8.07	8.07	8.89	10.50	8.92	8.40	8.70	45	11
408	CE408	Cumple	2.34	1.76	1.84	275000	1018000	308800	302600	0.93	0.46	0.61	8.33	8.78	8.25	8.23	8.23	9.06	10.50	8.91	8.56	8.85	24	2
409	CE409	Cumple	3.11	2.43	2.50	394900	1082000	402100	444400	1.08	0.65	0.82	7.98	8.54	7.74	7.86	7.86	8.63	10.64	9.02	8.18	8.50	135	96
410	CE410	Cumple	2.77	2.14	2.20	347800	1090000	346000	378200	1.01	0.56	0.72	8.12	8.62	7.94	8.01	8.01	8.83	10.54	8.92	8.34	8.65	66	26
411	CE411	Cumple	2.47	1.88	1.94	319800	1114000	346200	332800	0.96	0.49	0.64	8.25	8.71	8.12	8.16	8.16	9.00	10.50	8.88	8.49	8.79	35	7
412	CE412	Cumple	3.28	2.60	2.64	453300	1211000	431900	500700	1.16	0.71	0.85	7.94	8.49	7.56	7.83	7.83	8.58	10.79	9.08	8.14	8.50	181	152
413	CE413	Cumple	2.92	2.28	2.32	400200	1205000	391800	421300	1.07	0.61	0.76	8.07	8.56	7.79	7.98	7.98	8.78	10.61	8.94	8.29	8.62	95	48
414	CE414	Cumple	2.61	2.00	2.04	367800	1220000	390300	381000	1.00	0.53	0.67	8.20	8.65	7.99	8.11	8.11	8.94	10.53	8.87	8.44	8.75	50	14
415	CE415	Cumple	3.22	2.78	2.71	510700	1274000	447300	537400	1.21	0.72	0.82	7.95	8.34	7.51	7.90	7.90	8.65	10.48	8.84	8.30	8.62	185	160
416	CE416	Cumple	2.90	2.45	2.39	459300	1259000	386700	474500	1.10	0.62	0.74	8.08	8.42	7.73	8.03	8.03	8.81	10.36	8.73	8.40	8.71	103	61
417	CE417	Cumple	2.61	2.17	2.11	426500	1266000	384500	438000	1.03	0.54	0.66	8.20	8.52	7.93	8.15	8.15	8.95	10.32	8.70	8.52	8.82	58	22
418	CE418	Cumple	3.40	3.01	2.88	597200	1439000	488400	615800	1.31	0.80	0.86	7.93	8.29	7.29	7.88	7.88	8.63	10.71	8.94	8.29	8.66	247	248
419	CE419	Cumple	3.06	2.65	2.54	532500	1406000	444700	547400	1.18	0.68	0.77	8.04	8.37	7.56	8.00	8.00	8.78	10.47	8.76	8.39	8.72	147	113
420	CE420	Cumple	2.76	2.34	2.24	492800	1399000	439300	504100	1.08	0.59	0.69	8.16	8.46	7.78	8.12	8.12	8.92	10.37	8.69	8.49	8.80	84	45
421	CE421	Cumple	3.57	3.28	3.08	706600	1628000	544500	723500	1.43	0.90	0.90	7.93	8.25	7.05	7.89	7.89	8.60	11.02	9.11	8.29	8.72	316	352
422	CE422	Cumple	3.22	2.87	2.70	614200	1570000	513600	628500	1.27	0.75	0.81	8.02	8.32	7.36	7.99	7.99	8.76	10.64	8.81	8.37	8.73	202	184
423	CE423	Cumple	2.91	2.53	2.38	564400	1548000	503400	575500	1.15	0.64	0.72	8.12	8.40	7.62	8.09	8.09	8.90	10.45	8.70	8.46	8.80	121	85
424	CE424	Cumple	3.44	3.34	3.05	740300	1632000	539900	758800	1.42	0.87	0.86	7.94	8.15	7.12	7.94	7.94	8.71	10.62	8.79	8.45	8.83	291	308
425	CE425	Cumple	3.12	2.95	2.69	659700	1575000	484300	674800	1.26	0.73	0.77	8.04	8.23	7.41	8.04	8.04	8.82	10.35	8.60	8.50	8.83	187	161
426	CE426	Cumple	2.84	2.62	2.38	610600	1550000	475700	622600	1.15	0.63	0.70	8.15	8.32	7.65	8.14	8.14	8.93	10.24	8.53	8.56	8.87	116	78
427	CE427	Cumple	3.61	3.64	3.29	898000	1864000	603900	913000	1.56	0.98	0.90	7.96	8.11	6.84	7.96	7.96	8.71	11.00	9.00	8.47	8.94	360	413
428	CE428	Cumple	3.28	3.20	2.88	769100	1775000	564500	782800	1.37	0.82	0.81	8.04	8.18	7.19	8.04	8.04	8.82	10.57	8.67	8.51	8.88	249	249
429	CE429	Cumple	2.98	2.83	2.54	703300	1730000	550900	714700	1.23	0.69	0.73	8.13	8.27	7.47	8.13	8.13	8.93	10.34	8.55	8.56	8.90	163	134
430	CE430	Cumple	3.80	4.00	3.56	1137000	2135000	708400	1148000	1.73	1.11	0.94	8.01	8.09	6.72	8.01	8.01	8.68	11.50	9.34	8.48	9.12	427	513
431	CE431	Cumple	3.44	3.48	3.10	904900	2002000	660100	916100	1.50	0.92	0.84	8.05	8.14	6.93	8.05	8.05	8.83	10.91	8.83	8.53	8.97	314	349
432	CE432	Cumple	3.13	3.07	2.72	807000	1929000	638600	817300	1.32	0.77	0.76	8.12	8.21	7.26	8.12	8.12	8.93	10.53	8.60	8.56	8.94	215	206
433	CE433	Cumple	3.14	2.33	2.47	378500	1217000	486800	458100	1.08	0.68	0.82	8.02	8.75	7.83	7.86	7.86	9.16	11.50	9.06	8.32	8.51	136	97
434	CE434	Cumple	2.78	2.02	2.15	326300	1237000	420300	394000	1.01	0.59	0.72	8.16	8.82	8.04	8.03	8.03	9.35	11.40	8.95	8.48	8.68	65	25
435	CE435	Cumple	2.48	1.75	1.88	295900	1276000	395600	347200	0.97	0.52	0.64	8.30	8.90	8.23	8.19	8.19	9.54	11.37	8.88	8.68	8.85	33	5
436	CE436	Cumple	3.31	2.53	2.65	435400	1371000	529200	518900	1.16	0.76	0.86	7.97	8.69	7.62	7.83	7.83	9.09	11.68	9.13	8.27	8.49	192	169
437	CE437	Cumple	2.95	2.20	2.31	379400	1373000	451800	439400	1.07	0.65	0.76	8.10	8.75	7.85	7.98	7.98	9.30	11.49	8.95	8.43	8.64	99	54
438	CE438	Cumple	2.63	1.91	2.01	346800	1400000	445800	381600	1.01	0.56	0.68	8.23	8.83	8.07	8.12	8.12	9.47	11.41	8.86	8.62	8.79	52	17
439	CE439	Cumple	3.51	2.76	2.85	505600	1547000	577900	585400	1.27	0.85	0.90	7.95	8.64	7.38	7.82	7.82	9.01	11.92	9.30	8.19	8.49	257	263
440	CE440	Cumple	3.12	2.39	2.47	437200	1526000	506400	489900	1.14	0.72	0.80	8.06	8.69	7.66	7.95	7.95	9.27	11.63	8.99	8.41	8.61	144	109
441	CE441	Cumple	2.79	2.07	2.16	401200	1538000	506000	419700	1.06	0.61	0.71	8.18	8.76	7.90	8.08	8.08	9.42	11.48	8.87	8.54	8.75	78	39
442	CE442	Cumple	3.41	2.89	2.90	557900	1627000	597100	626100	1.30	0.85	0.86	7.96	8.47	7.35	7.90	7.90	9.12	11.52	8.97	8.38	8.66	252	252
443	CE443	Cumple	3.06	2.52	2.53	500600	1599000	506900	529100	1.17	0.72	0.77	8.07	8.53	7.62	8.02	8.02	9.31	11.32	8.74	8.52	8.74	146	111
444	CE444	Cumple	2.76	2.21	2.22	469400	1602000	497100	487300	1.08	0.61	0.69	8.18	8.61	7.85	8.13	8.13	9.42	11.22	8.66	8.63	8.84	82	44
445	CE445	Cumple	3.61	3.20	3.14	676100	1854000	665700	713700	1.43	0.96	0.91	7.97	8.42	7.07	7.91	7.91	9.10	11.84	9.17	8.38	8.74	328	371
446	CE446	Cumple	3.25	2.77	2.73	584100	1795000	657400	605200	1.27	0.80	0.81	8.05	8.48	7.39	8.00	8.00	9.30	11.53	8.80	8.53	8.77	206	191
447	CE447	Cumple	2.93	2.42	2.39	543700	1777000	571300	558800	1.15	0.68	0.73	8.15	8.55	7.66	8.11	8.11	9.42	11.33	8.65	8.62	8.84	125	88
448	CE448	Cumple	3.82	3.56	3.43	873000	2119000	750800	893000	1.58	1.09	0.95	8.01	8.39	6.75	7.95	7.96	9.01	12.23	9.54	8.36	8.89	404	478
449	CE449	Cumple	3.43	3.05	2.96	688700	2016000	671500	707600	1.38	0.90	0.85	8.06	8.44	7.13	8.02	8.02	9.24	11.80	8.98	8.46	8.81	278	294
450	CE450	Cumple	3.10	2.66	2.58	625600	1972000	658400	640200	1.23	0.75	0.76	8.13	8.50	7.45	8.10	8.10	9.41	11.50	8.71	8.59	8.85	177	150

Tabla B.X. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 451 al 500.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
451	CE451	Cumple	3.63	3.55	3.33	860100	2109000	741600	878600	1.54	1.03	0.90	7.99	8.28	6.89	7.99	7.99	9.21	11.74	8.99	8.58	8.99	365	420
452	CE452	Cumple	3.29	3.10	2.90	737100	2018000	627600	753600	1.35	0.85	0.81	8.07	8.33	7.23	8.06	8.06	9.35	11.42	8.62	8.66	8.93	250	250
453	CE453	Cumple	2.99	2.72	2.55	685300	1977000	619600	698600	1.22	0.72	0.73	8.15	8.41	7.52	8.15	8.15	9.45	11.21	8.47	8.73	8.96	162	132
454	CE454	Cumple	3.85	3.97	3.68	1171000	2440000	856800	1180000	1.72	1.18	0.94	8.06	8.26	6.76	8.05	8.12	9.16	12.20	9.43	8.59	9.23	441	532
455	CE455	Cumple	3.48	3.43	3.16	890400	2292000	739800	901600	1.49	0.97	0.85	8.09	8.29	6.94	8.09	8.09	9.34	11.75	8.84	8.64	9.03	324	364
456	CE456	Cumple	3.16	3.00	2.76	797800	2216000	722700	807800	1.31	0.81	0.76	8.15	8.35	7.28	8.15	8.15	9.47	11.43	8.52	8.75	9.01	220	213
457	CE457	Cumple	4.07	4.40	4.07	1491000	2810000	1014000	1506000	1.91	1.37	0.99	8.17	8.31	6.88	8.15	8.32	9.06	12.89	10.13	8.61	9.56	502	616
458	CE458	Cumple	3.68	3.81	3.48	1132000	2612000	876700	1137000	1.65	1.11	0.89	8.15	8.26	6.84	8.15	8.18	9.33	12.20	9.20	8.65	9.20	398	473
459	CE459	Cumple	3.33	3.30	3.00	935300	2488000	845500	942400	1.44	0.91	0.80	8.18	8.31	7.00	8.18	8.18	9.46	11.73	8.71	8.70	9.08	287	305
460	CE460	Cumple	3.33	2.41	2.61	416700	1499000	627600	534900	1.14	0.78	0.86	8.01	8.91	7.73	7.85	7.85	9.51	12.23	9.18	8.27	8.46	195	175
461	CE461	Cumple	2.96	2.07	2.26	354300	1514000	539500	453800	1.05	0.67	0.76	8.14	8.96	7.97	8.00	8.00	9.71	12.05	8.99	8.42	8.63	100	56
462	CE462	Cumple	2.63	1.79	1.95	315600	1556000	492300	395500	1.00	0.58	0.67	8.27	9.03	8.18	8.15	8.15	9.88	11.95	8.90	8.60	8.80	52	18
463	CE463	Cumple	3.53	2.68	2.85	476700	1701000	691800	610500	1.24	0.88	0.91	7.99	8.84	7.46	7.84	7.84	9.42	12.51	9.33	8.27	8.46	265	277
464	CE464	Cumple	3.14	2.29	2.46	405500	1688000	586100	512500	1.13	0.75	0.80	8.10	8.89	7.74	7.97	7.97	9.63	12.20	9.03	8.34	8.58	150	117
465	CE465	Cumple	2.80	1.96	2.12	368000	1711000	557500	439400	1.05	0.64	0.71	8.21	8.95	7.98	8.10	8.10	9.82	12.02	8.89	8.52	8.74	80	42
466	CE466	Cumple	3.75	2.99	3.12	571000	1936000	768900	693600	1.37	1.00	0.95	8.00	8.80	7.15	7.86	7.86	9.35	12.91	9.60	8.33	8.50	341	392
467	CE467	Cumple	3.34	2.54	2.67	465600	1885000	640000	572600	1.22	0.83	0.85	8.08	8.84	7.49	7.96	7.96	9.60	12.45	9.15	8.33	8.57	211	197
468	CE468	Cumple	2.97	2.17	2.31	423600	1885000	635800	483900	1.11	0.70	0.75	8.18	8.89	7.77	8.08	8.08	9.76	12.17	8.92	8.44	8.70	120	84
469	CE469	Cumple	3.61	3.08	3.14	606000	2029000	789400	699900	1.38	0.98	0.90	8.00	8.61	7.17	7.93	7.93	9.56	12.40	9.09	8.39	8.74	322	359
470	CE470	Cumple	3.24	2.65	2.71	530500	1978000	663000	587800	1.23	0.82	0.81	8.09	8.66	7.48	8.03	8.03	9.70	12.05	8.78	8.50	8.76	203	185
471	CE471	Cumple	2.91	2.30	2.36	502400	1971000	624500	524700	1.12	0.70	0.72	8.19	8.73	7.74	8.14	8.14	9.83	11.85	8.63	8.62	8.85	118	82
472	CE472	Cumple	3.84	3.47	3.48	804500	2339000	901200	834900	1.55	1.13	0.95	8.05	8.58	6.81	7.99	8.03	9.57	12.91	9.45	8.39	8.90	407	483
473	CE473	Cumple	3.45	2.95	2.98	630300	2234000	739100	661500	1.35	0.93	0.85	8.10	8.61	7.19	8.05	8.05	9.70	12.38	8.93	8.46	8.83	277	291
474	CE474	Cumple	3.11	2.54	2.58	582300	2195000	721800	602100	1.20	0.78	0.76	8.17	8.67	7.50	8.13	8.13	9.80	12.05	8.68	8.58	8.86	174	144
475	CE475	Cumple	4.09	3.92	3.88	1253000	2697000	1050000	1269000	1.72	1.32	1.00	8.15	8.61	6.84	8.08	8.23	9.48	13.61	10.04	8.43	9.11	480	586
476	CE476	Cumple	3.67	3.31	3.29	788800	2534000	856700	810300	1.49	1.06	0.89	8.15	8.58	6.85	8.10	8.11	9.69	12.87	9.24	8.45	8.94	359	411
477	CE477	Cumple	3.30	2.83	2.82	676400	2450000	838200	694500	1.31	0.88	0.80	8.18	8.62	7.23	8.15	8.15	9.82	12.36	8.81	8.54	8.90	241	241
478	CE478	Cumple	3.85	3.83	3.70	1061000	2671000	1013000	1079000	1.65	1.21	0.94	8.10	8.43	6.81	8.09	8.20	9.76	12.84	9.23	8.69	9.27	435	524
479	CE479	Cumple	3.48	3.28	3.17	813000	2526000	824300	833100	1.43	0.99	0.84	8.13	8.45	7.02	8.13	8.13	9.81	12.29	8.71	8.69	9.08	317	353
480	CE480	Cumple	3.15	2.86	2.75	748700	2457000	787700	764600	1.27	0.82	0.76	8.19	8.51	7.35	8.19	8.19	9.87	11.93	8.54	8.74	9.04	212	199
481	CE481	Cumple	4.10	4.36	4.18	1562000	3116000	1213000	1591000	1.86	1.43	0.99	8.22	8.49	7.03	8.22	8.48	9.72	13.64	9.92	8.83	9.61	504	618
482	CE482	Cumple	3.70	3.71	3.53	1067000	2897000	953300	1075000	1.60	1.15	0.89	8.21	8.43	6.89	8.21	8.28	9.87	12.86	9.07	8.72	9.29	397	469
483	CE483	Cumple	3.35	3.20	3.03	888000	2770000	925100	898200	1.40	0.94	0.80	8.23	8.46	7.04	8.23	8.23	9.91	12.30	8.61	8.74	9.14	286	304
484	CE484	Cumple	4.39	4.97	4.79	1263000	3635000	1492000	1414000	2.14	1.69	1.05	8.44	8.70	7.56	8.39	8.85	9.41	14.73	11.41	9.16	10.28	543	670
485	CE485	Cumple	3.95	4.24	3.99	1610000	3349000	1142000	1605000	1.81	1.35	0.93	8.34	8.44	7.09	8.34	8.55	9.88	13.60	9.70	8.82	9.61	471	577
486	CE486	Cumple	3.56	3.59	3.37	1102000	3136000	1091000	1103000	1.55	1.08	0.84	8.30	8.44	6.97	8.30	8.35	9.97	12.85	8.93	8.75	9.31	360	415
487	CE487	Cumple	3.47	3.12	3.40	789700	1185000	668400	809600	1.42	0.82	0.89	8.12	8.32	7.47	7.89	7.89	8.71	10.37	8.78	8.84	8.84	294	314
488	CE488	Cumple	3.18	2.79	3.05	638000	1118000	588400	658000	1.31	0.74	0.80	8.19	8.39	7.67	7.99	7.99	8.70	10.26	8.69	8.77	8.77	199	178
489	CE489	Cumple	2.91	2.52	2.76	531300	1084000	523200	550700	1.22	0.67	0.73	8.27	8.47	7.85	8.09	8.09	8.73	10.16	8.65	8.73	8.73	126	90
490	CE490	Cumple	3.62	3.36	3.57	949900	1368000	731900	967400	1.52	0.90	0.92	8.13	8.26	7.21	7.92	7.92	8.81	10.46	8.85	8.94	9.13	351	403
491	CE491	Cumple	3.32	3.01	3.21	771000	1278000	636300	788500	1.39	0.80	0.84	8.18	8.31	7.46	7.99	7.99	8.75	10.36	8.67	8.88	8.88	252	254
492	CE492	Cumple	3.05	2.71	2.90	637000	1228000	561200	654700	1.29	0.72	0.76	8.25	8.38	7.66	8.08	8.08	8.75	10.22	8.59	8.81	8.81	167	138
493	CE493	Cumple	3.77	3.66	3.78	1115000	1578000	807800	1129000	1.64	0.99	0.96	8.16	8.22	6.93	7.98	7.98	8.88	10.62	9.08	9.03	9.53	407	482
494	CE494	Cumple	3.46	3.25	3.39	923800	1455000	691400	938800	1.49	0.87	0.87	8.19	8.25	7.22	8.01	8.01	8.84	10.47	8.71	8.98	9.07	310	339
495	CE495	Cumple	3.18	2.91	3.06	761700	1384000	602900	773700	1.37	0.77	0.79	8.24	8.31	7.46	8.08	8.08	8.80	10.33	8.57	8.90	8.90	217	210
496	CE496	Cumple	3.62	3.80	3.75	1172000	1628000	815800	1185000	1.67	0.96	0.91	8.14	8.08	6.93	8.02	8.02	8.98	10.23	8.63	9.23	9.48	387	454
497	CE497	Cumple	3.35	3.40	3.38	988300	1509000	703100	1002000	1.52	0.85	0.83	8.18	8.12	7.20	8.07	8.07	8.87	10.16	8.40	9.13	9.13	295	317
498	CE498	Cumple	3.10	3.07	3.07	831900	1436000	616600	845700	1.39	0.76	0.76	8.24	8.18	7.43	8.14	8.14	8.82	10.03	8.32	9.01	9.01	213	202
499	CE499	Cumple	3.77	4.19	4.01	1382000	1920000	925400	1391000	1.82	1.06	0.95	8.18	8.08	6.60	8.10	8.10	9.09	10.49	8.98	9.39	9.98	446	538
500	CE500	Cumple	3.49	3.73	3.60	1180000	1735000	780900	1190000	1.64	0.94	0.86	8.20	8.07	6.93	8.11	8.11	9.01	10.29	8.49	9.26	9.43	353	407

Tabla B.XI. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 501 al 550.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	M _{xvz} (ton*m)	M _{yvz} (ton*m)	M _{xvz} (ton*m)	M _{yvz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE	
501	CE501	Cumple	3.23	3.36	3.25	1005000	1635000	674500	1017000	1.49	0.83	0.79	8.24	8.12	7.20	8.15	8.15	8.91	10.17	8.32	9.74	9.14	9.14	266	281
502	CE502	Cumple	3.94	4.60	4.32	1698000	2220000	1072000	1701000	2.01	1.20	1.00	8.23	8.14	6.56	8.20	8.20	9.05	11.39	9.74	9.77	10.50	499	613	
503	CE503	Cumple	3.63	4.10	3.84	1376000	2001000	877000	1383000	1.78	1.03	0.90	8.24	8.05	6.63	8.17	8.17	9.14	10.48	8.77	9.39	9.89	412	491	
504	CE504	Cumple	3.37	3.67	3.45	1191000	1860000	743200	1200000	1.60	0.91	0.82	8.26	8.06	6.94	8.18	8.18	9.03	10.32	8.38	9.27	9.38	322	362	
505	CE505	Cumple	3.74	4.55	4.14	1646000	2159000	1028000	1664000	1.95	1.11	0.93	8.18	8.00	6.55	8.18	8.18	9.27	10.39	8.84	9.70	10.29	460	560	
506	CE506	Cumple	3.47	4.06	3.71	1397000	1960000	859900	1415000	1.74	0.97	0.85	8.21	7.97	6.77	8.18	8.18	9.14	10.14	8.30	9.49	9.67	375	439	
507	CE507	Cumple	3.23	3.67	3.36	1220000	1836000	738300	1236000	1.58	0.86	0.78	8.24	8.00	7.06	8.22	8.22	9.00	10.03	8.11	9.33	9.33	293	312	
508	CE508	Cumple	3.92	5.02	4.49	2191000	2551000	1222000	2204000	2.16	1.26	0.99	8.29	8.11	6.66	8.29	8.37	9.25	11.58	9.78	10.33	10.98	511	628	
509	CE509	Cumple	3.62	4.47	3.99	1664000	2285000	987600	1678000	1.90	1.08	0.89	8.26	7.98	6.64	8.25	8.25	9.30	10.39	8.67	9.68	10.23	431	519	
510	CE510	Cumple	3.37	4.01	3.59	1441000	2109000	828700	1454000	1.70	0.95	0.81	8.27	7.97	6.77	8.25	8.25	9.16	10.21	8.21	9.51	9.65	349	402	
511	CE511	Cumple	4.12	5.54	4.93	2770000	3022000	1484000	2789000	2.36	1.47	1.04	8.34	8.39	6.88	8.26	8.64	8.58	13.09	12.36	12.55	13.16	548	677	
512	CE512	Cumple	3.79	4.95	4.33	2175000	2680000	1156000	2183000	2.11	1.22	0.94	8.37	8.04	6.74	8.37	8.43	9.36	11.32	9.46	10.18	10.91	484	591	
513	CE513	Cumple	3.51	4.39	3.85	1687000	2428000	942600	1696000	1.85	1.05	0.85	8.33	7.96	6.73	8.33	8.33	9.33	10.43	8.52	9.67	10.16	406	481	
514	CE514	Cumple	3.66	3.33	3.62	1004000	1526000	883200	1027000	1.55	0.95	0.93	8.15	8.49	7.32	7.88	7.88	8.79	11.26	9.26	8.98	9.27	368	426	
515	CE515	Cumple	3.35	2.95	3.24	806200	1428000	768800	828700	1.41	0.85	0.84	8.19	8.53	7.56	7.96	7.96	8.73	11.07	9.08	8.88	8.91	269	286	
516	CE516	Cumple	3.07	2.64	2.91	645200	1377000	678700	667200	1.31	0.76	0.77	8.26	8.59	7.77	8.05	8.05	8.74	10.88	8.97	8.79	8.79	182	155	
517	CE517	Cumple	3.82	3.68	3.89	1160000	1790000	989800	1180000	1.68	1.05	0.97	8.18	8.45	6.98	7.95	7.95	8.91	11.41	9.48	9.08	9.68	430	517	
518	CE518	Cumple	3.51	3.24	3.46	985800	1647000	846600	1005000	1.52	0.93	0.88	8.21	8.46	7.28	7.98	7.98	8.84	11.26	9.10	9.02	9.26	332	377	
519	CE519	Cumple	3.22	2.89	3.11	800300	1569000	738100	818800	1.40	0.82	0.80	8.25	8.50	7.53	8.06	8.06	8.79	11.03	8.95	8.91	8.92	238	236	
520	CE520	Cumple	4.00	4.10	4.21	1369000	2112000	1127000	1383000	1.85	1.17	1.01	8.24	8.45	6.60	8.06	8.06	8.91	12.07	10.01	9.32	10.16	485	594	
521	CE521	Cumple	3.67	3.57	3.72	1143000	1920000	941400	1160000	1.65	1.02	0.91	8.24	8.41	6.95	8.04	8.04	8.97	11.43	9.26	9.13	9.64	393	463	
522	CE522	Cumple	3.38	3.16	3.33	975700	1787000	807600	991100	1.50	0.90	0.83	8.26	8.43	7.25	8.08	8.08	8.89	11.24	8.97	9.06	9.23	299	323	
523	CE523	Cumple	3.81	4.14	4.11	1372000	2137000	1124000	1404000	1.84	1.12	0.95	8.19	8.30	6.68	8.07	8.07	9.15	11.26	9.27	9.48	10.10	455	555	
524	CE524	Cumple	3.52	3.66	3.66	1197000	1952000	950600	1225000	1.66	0.98	0.86	8.22	8.26	7.00	8.08	8.08	9.02	11.05	8.82	9.34	9.61	370	432	
525	CE525	Cumple	3.26	3.26	3.30	1035000	1843000	822000	1057000	1.51	0.87	0.79	8.25	8.30	7.28	8.14	8.14	8.90	10.85	8.66	9.17	9.20	281	298	
526	CE526	Cumple	3.99	4.66	4.49	1857000	2542000	1323000	1878000	2.04	1.27	1.00	8.26	8.36	6.61	8.19	8.27	9.18	12.41	9.98	9.93	10.70	510	627	
527	CE527	Cumple	3.68	4.09	3.96	1386000	2280000	1084000	1410000	1.81	1.09	0.90	8.27	8.26	6.64	8.16	8.16	9.20	11.28	9.11	9.50	10.08	429	514	
528	CE528	Cumple	3.41	3.62	3.54	1229000	2118000	918700	1250000	1.63	0.96	0.82	8.28	8.24	6.97	8.17	8.17	9.06	11.10	8.71	9.37	9.61	342	393	
529	CE529	Cumple	4.20	5.28	4.96	2671000	3060000	1595000	2696000	2.26	1.49	1.07	8.34	8.58	6.94	8.29	8.63	9.01	14.18	12.23	11.95	12.30	552	682	
530	CE530	Cumple	3.86	4.60	4.33	1825000	2681000	1260000	1839000	2.00	1.23	0.94	8.34	8.29	6.71	8.28	8.35	9.29	12.19	9.73	9.86	10.67	485	593	
531	CE531	Cumple	3.57	4.03	3.83	1408000	2439000	1039000	1426000	1.77	1.06	0.86	8.33	8.23	6.71	8.25	8.25	9.24	11.33	8.95	9.52	10.05	402	477	
532	CE532	Cumple	3.94	5.03	4.62	2400000	2883000	1480000	2407000	2.16	1.32	0.97	8.28	8.30	6.73	8.28	8.46	9.47	12.47	9.77	10.41	11.08	513	631	
533	CE533	Cumple	3.65	4.42	4.08	1657000	2574000	1204000	1668000	1.91	1.13	0.88	8.28	8.18	6.65	8.24	8.29	9.38	11.18	8.92	9.81	10.37	439	529	
534	CE534	Cumple	3.39	3.94	3.65	1449000	2381000	1013000	1461000	1.71	0.99	0.81	8.29	8.14	6.83	8.25	8.25	9.19	10.96	8.49	9.61	9.85	360	414	
535	CE535	Cumple	4.16	5.67	5.15	2799000	3482000	1833000	2816000	2.38	1.55	1.03	8.38	8.62	7.13	8.28	8.80	8.66	14.16	12.32	12.70	13.24	551	679	
536	CE536	Cumple	3.83	4.98	4.49	2414000	3063000	1438000	2415000	2.12	1.29	0.93	8.38	8.25	6.84	8.38	8.55	9.53	12.39	9.67	10.36	11.11	490	605	
537	CE537	Cumple	3.55	4.39	3.97	1720000	2774000	1173000	1725000	1.87	1.10	0.85	8.36	8.16	6.75	8.34	8.38	9.42	11.25	8.82	9.84	10.39	417	499	
538	CE538	Cumple	4.40	6.63	5.95	4930000	4310000	2399000	4967000	2.74	1.92	1.15	8.69	8.87	8.11	8.57	9.18	9.22	18.43	13.53	12.70	13.66	580	708	
539	CE539	Cumple	4.05	5.62	5.00	2884000	3665000	1764000	2890000	2.34	1.51	0.98	8.48	8.50	7.28	8.44	8.93	8.87	14.16	11.92	12.38	13.01	532	659	
540	CE540	Cumple	3.73	4.91	4.36	2409000	3255000	1389000	2403000	2.08	1.25	0.89	8.48	8.22	6.93	8.48	8.62	9.58	12.33	9.57	10.28	11.10	469	570	
541	CE541	Cumple	3.84	3.64	3.93	1150000	1948000	1159000	1205000	1.66	1.08	0.96	8.19	8.69	7.11	7.91	7.91	8.85	12.26	9.80	9.21	9.89	435	523	
542	CE542	Cumple	3.53	3.18	3.48	1005000	1795000	996900	1053000	1.51	0.96	0.88	8.21	8.68	7.41	7.96	7.96	8.75	11.93	9.53	9.07	9.36	341	390	
543	CE543	Cumple	3.24	2.81	3.11	797800	1715000	872800	839900	1.39	0.86	0.80	8.26	8.72	7.65	8.04	8.04	8.74	11.61	9.32	8.90	8.97	246	246	
544	CE544	Cumple	4.03	4.12	4.31	1352000	2337000	1334000	1405000	1.85	1.22	1.01	8.26	8.68	6.69	8.03	8.05	8.94	12.93	10.32	9.50	10.28	492	606	
545	CE545	Cumple	3.71	3.56	3.79	1137000	2098000	1120000	1184000	1.64	1.06	0.91	8.26	8.63	7.04	8.02	8.02	8.92	12.26	9.64	9.27	9.90	404	479	
546	CE546	Cumple	3.41	3.12	3.37	1001000	1970000	964100	1038000	1.49	0.94	0.83	8.28	8.64	7.34	8.06	8.06	8.82	11.91	9.38	9.11	9.36	310	340	
547	CE547	Cumple	4.23	4.75	4.78	2270000	2842000	1570000	2299000	2.09	1.42	1.07	8.35	8.69	6.79	8.22	8.40	8.84	14.71	11.23	10.25	11.03	543	669	
548	CE548	Cumple	3.89	4.00	4.15	1307000	2468000	1276000	1350000	1.81	1.19	0.96	8.34	8.62	6.63	8.13	8.15	9.05	12.82	10.08	9.46	10.29	464	562	
549	CE549	Cumple	3.58	3.48	3.66	1136000	2266000	1075000	1174000	1.62	1.03	0.87	8.33	8.59	6.99	8.12	8.12	8.98	12.26	9.50	9.31	9.87	372	435	
550	CE550	Cumple	3.99	4.59	4.55	1817000	2777000	1537000	1841000	2.02	1.30														

Tabla B.XII. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 551 al 600.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc o (°)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
551	CE551	Cumple	3.69	3.97	4.00	1307000	2487000	1273000	1354000	1.78	1.12	0.89	8.28	8.46	6.75	8.14	8.19	9.17	12.15	9.36	9.67	10.29	427	511
552	CE552	Cumple	3.42	3.50	3.57	1212000	2318000	1085000	1237000	1.60	0.99	0.82	8.30	8.44	7.08	8.17	8.17	8.98	11.73	9.08	9.44	9.74	343	394
553	CE553	Cumple	4.21	5.30	5.09	2738000	3388000	1876000	2769000	2.23	1.54	1.05	8.37	8.74	7.10	8.33	8.71	9.09	15.13	11.33	11.27	11.86	551	681
554	CE554	Cumple	3.88	4.54	4.43	1823000	2964000	1498000	1837000	1.99	1.28	0.95	8.37	8.50	6.76	8.27	8.42	9.38	13.09	9.97	10.08	10.79	487	597
555	CE555	Cumple	3.59	3.95	3.90	1350000	2697000	1243000	1373000	1.76	1.10	0.86	8.36	8.43	6.73	8.24	8.29	9.23	12.19	9.25	9.71	10.33	405	480
556	CE556	Cumple	4.44	6.41	5.88	4400000	4294000	2412000	4401000	2.68	1.85	1.15	8.70	9.01	8.04	8.50	9.08	9.23	18.87	13.13	12.87	14.01	581	711
557	CE557	Cumple	4.10	5.24	4.95	2775000	3561000	1811000	2793000	2.20	1.50	1.00	8.48	8.63	7.23	8.45	8.82	9.29	15.09	11.09	11.05	11.79	532	657
558	CE558	Cumple	3.78	4.50	4.31	1823000	3164000	1452000	1828000	1.95	1.25	0.91	8.46	8.46	6.86	8.38	8.52	9.45	13.07	9.86	10.04	10.82	467	566
559	CE559	Cumple	4.15	5.60	5.21	2758000	3781000	2106000	2825000	2.31	1.57	1.02	8.38	8.72	7.31	8.38	8.90	9.52	15.04	10.91	11.59	12.25	544	671
560	CE560	Cumple	3.83	4.86	4.54	2345000	3334000	1674000	2340000	2.07	1.32	0.92	8.39	8.44	6.90	8.37	8.60	9.64	13.11	9.75	10.51	11.13	488	599
561	CE561	Cumple	3.55	4.27	4.01	1610000	3035000	1379000	1615000	1.84	1.13	0.84	8.38	8.34	6.79	8.33	8.44	9.40	12.11	9.04	10.03	10.63	414	493
562	CE562	Cumple	4.40	6.66	6.10	5179000	4664000	2741000	5214000	2.64	1.96	1.14	8.72	9.11	8.40	8.56	9.32	9.55	18.80	12.34	13.29	14.11	578	705
563	CE563	Cumple	4.06	5.62	5.13	2811000	4056000	2082000	2838000	2.31	1.55	0.98	8.52	8.65	7.54	8.52	9.07	9.54	15.09	11.05	11.80	12.52	530	654
564	CE564	Cumple	3.75	4.86	4.46	2468000	3598000	1654000	2455000	2.05	1.30	0.89	8.49	8.41	7.03	8.49	8.73	9.70	13.24	9.75	10.53	11.24	471	575
565	CE565	Cumple	4.79	9.92	6.59	5781000	6258000	4611000	6051000	3.81	2.40	1.29	8.97	10.50	10.33	8.97	10.23	9.63	28.51	26.78	24.48	24.48	599	726
566	CE566	Cumple	4.33	6.60	6.01	5014000	4918000	2707000	5052000	2.58	1.94	1.10	8.85	8.99	8.68	8.75	9.55	9.71	18.93	12.45	13.11	14.07	571	700
567	CE567	Cumple	3.98	5.63	5.04	2921000	4357000	2043000	2906000	2.30	1.52	0.93	8.65	8.58	7.73	8.65	9.23	9.51	15.11	11.21	12.00	12.80	514	632
568	CE568	Cumple	3.15	2.65	2.85	633100	1132000	575200	650200	1.24	0.71	0.80	8.20	8.45	7.75	8.00	8.00	8.70	10.31	8.77	8.77	8.77	177	149
569	CE569	Cumple	2.85	2.36	2.55	519700	1098000	504600	536000	1.15	0.63	0.72	8.29	8.53	7.94	8.12	8.12	8.74	10.20	8.72	8.73	8.73	102	60
570	CE570	Cumple	2.59	2.12	2.29	443100	1091000	446900	457900	1.08	0.57	0.65	8.37	8.62	8.10	8.23	8.23	8.82	10.13	8.71	8.75	8.75	59	23
571	CE571	Cumple	3.29	2.84	2.99	761100	1292000	621900	776300	1.33	0.77	0.83	8.19	8.38	7.56	8.00	8.00	8.76	10.42	8.76	8.88	8.88	229	227
572	CE572	Cumple	2.99	2.53	2.67	619300	1240000	541700	634200	1.22	0.68	0.74	8.26	8.46	7.77	8.10	8.10	8.76	10.26	8.68	8.80	8.80	140	101
573	CE573	Cumple	2.72	2.27	2.40	524500	1221000	475500	538500	1.13	0.61	0.67	8.34	8.54	7.95	8.21	8.21	8.81	10.16	8.65	8.78	8.78	82	43
574	CE574	Cumple	3.43	3.05	3.15	909600	1468000	674900	922700	1.43	0.85	0.86	8.19	8.32	7.34	8.02	8.02	8.84	10.54	8.81	8.98	9.05	284	300
575	CE575	Cumple	3.12	2.71	2.81	736400	1396000	579900	749800	1.29	0.74	0.77	8.25	8.39	7.58	8.10	8.10	8.80	10.37	8.66	8.89	8.89	184	157
576	CE576	Cumple	2.85	2.42	2.53	617500	1362000	505700	630300	1.19	0.66	0.70	8.32	8.47	7.79	8.19	8.19	8.82	10.22	8.60	8.83	8.83	113	74
577	CE577	Cumple	3.32	3.21	3.17	978300	1532000	688500	990600	1.47	0.84	0.82	8.19	8.19	7.30	8.08	8.08	8.89	10.23	8.50	9.12	9.12	275	289
578	CE578	Cumple	3.05	2.87	2.84	810100	1455000	595100	822400	1.33	0.74	0.74	8.25	8.26	7.54	8.17	8.17	8.83	10.08	8.42	8.99	8.99	187	162
579	CE579	Cumple	2.79	2.58	2.56	692100	1413000	521900	703700	1.23	0.66	0.68	8.32	8.34	7.74	8.25	8.25	8.83	9.97	8.40	8.92	8.92	124	86
580	CE580	Cumple	3.46	3.51	3.37	1166000	1759000	763900	1176000	1.59	0.92	0.85	8.20	8.14	7.04	8.11	8.11	9.03	10.36	8.59	9.26	9.40	333	380
581	CE581	Cumple	3.18	3.12	3.01	975500	1651000	649700	986000	1.43	0.81	0.77	8.25	8.20	7.33	8.17	8.17	8.91	10.22	8.41	9.12	9.12	236	233
582	CE582	Cumple	2.92	2.80	2.71	826300	1590000	562800	836300	1.30	0.71	0.70	8.31	8.28	7.56	8.24	8.24	8.87	10.06	8.35	9.00	9.00	163	133
583	CE583	Cumple	3.61	3.84	3.60	1356000	2024000	856700	1362000	1.73	1.02	0.89	8.24	8.13	6.74	8.17	8.17	9.17	10.55	8.84	9.38	9.85	394	465
584	CE584	Cumple	3.31	3.40	3.20	1156000	1874000	713700	1164000	1.54	0.89	0.80	8.26	8.15	7.08	8.19	8.19	9.03	10.38	8.46	9.25	9.30	291	309
585	CE585	Cumple	3.04	3.04	2.87	980700	1787000	609300	989000	1.39	0.77	0.73	8.31	8.21	7.36	8.25	8.25	8.94	10.19	8.34	9.11	9.11	206	192
586	CE586	Cumple	3.45	3.84	3.50	1382000	1995000	843200	1401000	1.70	0.97	0.84	8.21	8.04	6.87	8.19	8.19	9.16	10.20	8.40	9.49	9.64	360	412
587	CE587	Cumple	3.18	3.43	3.14	1189000	1859000	712400	1204000	1.52	0.85	0.76	8.25	8.08	7.17	8.23	8.23	9.00	10.08	8.20	9.31	9.31	267	282
588	CE588	Cumple	2.94	3.09	2.82	1020000	1776000	614700	1034000	1.38	0.75	0.70	8.31	8.15	7.43	8.29	8.29	8.93	9.92	8.15	9.15	9.15	194	172
589	CE589	Cumple	3.60	4.22	3.77	1631000	2320000	967100	1646000	1.87	1.08	0.88	8.26	8.05	6.74	8.25	8.25	9.35	10.46	8.74	9.68	10.19	418	501
590	CE590	Cumple	3.31	3.74	3.35	1404000	2129000	796900	1417000	1.65	0.94	0.80	8.28	8.04	6.90	8.26	8.26	9.16	10.26	8.28	9.48	9.56	324	363
591	CE591	Cumple	3.06	3.35	3.00	1217000	2013000	675300	1229000	1.48	0.82	0.72	8.31	8.10	7.20	8.30	8.30	9.02	10.08	8.14	9.30	9.30	240	240
592	CE592	Cumple	3.77	4.60	4.08	2017000	2686000	1134000	2026000	2.05	1.22	0.93	8.35	8.13	6.80	8.35	8.40	9.39	11.39	9.45	10.03	10.76	469	572
593	CE593	Cumple	3.46	4.09	3.60	1628000	2442000	902500	1639000	1.80	1.04	0.83	8.33	8.03	6.83	8.33	8.33	9.35	10.46	8.53	9.65	10.03	379	446
594	CE594	Cumple	3.19	3.64	3.21	1426000	2279000	748000	1435000	1.60	0.90	0.75	8.34	8.06	6.97	8.33	8.33	9.17	10.28	8.21	9.46	9.49	292	310
595	CE595	Cumple	3.32	2.78	3.01	793700	1441000	750800	812900	1.35	0.82	0.83	8.20	8.59	7.65	7.97	7.97	8.74	11.12	9.17	8.86	8.89	244	243
596	CE596	Cumple	3.00	2.46	2.68	622300	1391000	653500	641600	1.24	0.72	0.75	8.28	8.65	7.86	8.08	8.08	8.76	10.90	9.04	8.77	8.77	151	118
597	CE597	Cumple	2.73	2.18	2.39	510700	1378000	575400	528500	1.16	0.65	0.68	8.36	8.72	8.05	8.19	8.19	8.83	10.77	8.97	8.75	8.75	89	47
598	CE598	Cumple	3.47	3.04	3.22	970500	1659000	825800	987000	1.45	0.90	0.86	8.21	8.52	7.39	7.99	7.99	8.84	11.32	9.20	9.01	9.23	307	332
599	CE599	Cumple	3.16	2.68	2.86	767200	1581000	709500	783400	1.32	0.79	0.78	8.26	8.57	7.64	8.08	8.08	8.79	11.05	9.03	8.89	8.89	205	187
600	CE600	Cumple	2.87	2.38	2.55	620500	1548000	619000	636200	1.22	0.70	0.70	8.33	8.64	7.85	8.17	8.17	8.83						

Tabla B.XIII. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 601 al 650.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balaceo (°)	M _{xvz} (ton*m)	M _{yvz} (ton*m)	M _{xvz} (ton*m)	M _{yvz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE	
601	CE601	Cumple	3.64	3.34	3.46	1130000	1913000	916900	1144000	1.58	1.00	0.90	8.24	8.48	7.09	8.04	8.04	8.97	11.51	9.34	9.12	9.12	9.61	368	430
602	CE602	Cumple	3.31	2.92	3.05	936900	1794000	774300	950400	1.42	0.87	0.81	8.27	8.51	7.40	8.09	8.09	8.87	11.26	9.06	9.03	9.16	9.16	263	270
603	CE603	Cumple	3.02	2.59	2.72	755200	1736000	667400	769000	1.30	0.76	0.73	8.32	8.57	7.65	8.17	8.17	8.85	10.99	8.91	8.91	8.91	8.91	175	146
604	CE604	Cumple	3.49	3.44	3.43	1185000	1977000	929600	1212000	1.61	0.97	0.85	8.22	8.33	7.11	8.09	8.09	9.03	11.12	8.91	9.33	9.57	348	401	
605	CE605	Cumple	3.20	3.04	3.05	999500	1862000	791400	1022000	1.44	0.85	0.77	8.27	8.37	7.40	8.16	8.16	8.90	10.88	8.74	9.14	9.15	252	253	
606	CE606	Cumple	2.93	2.71	2.73	828600	1800000	686900	849200	1.32	0.75	0.70	8.33	8.43	7.63	8.24	8.24	8.88	10.67	8.65	9.00	9.00	176	147	
607	CE607	Cumple	3.65	3.83	3.72	1360000	2302000	1059000	1386000	1.76	1.09	0.89	8.27	8.33	6.76	8.16	8.16	9.23	11.33	9.17	9.50	10.03	410	486	
608	CE608	Cumple	3.35	3.36	3.28	1197000	2131000	881900	1218000	1.57	0.94	0.81	8.29	8.32	7.11	8.19	8.19	9.04	11.13	8.79	9.33	9.52	311	343	
609	CE609	Cumple	3.07	2.98	2.92	1018000	2036000	752900	1035000	1.41	0.82	0.73	8.33	8.37	7.40	8.24	8.24	8.95	10.86	8.64	9.15	9.15	225	219	
610	CE610	Cumple	3.83	4.26	4.05	1687000	2679000	1230000	1705000	1.94	1.23	0.93	8.34	8.38	6.77	8.27	8.32	9.30	12.20	9.78	9.76	10.57	467	567	
611	CE611	Cumple	3.50	3.72	3.55	1365000	2444000	993700	1385000	1.71	1.04	0.84	8.34	8.30	6.81	8.25	8.25	9.24	11.36	8.96	9.50	9.95	371	434	
612	CE612	Cumple	3.22	3.28	3.14	1214000	2301000	831400	1229000	1.52	0.90	0.76	8.35	8.32	7.13	8.27	8.27	9.07	11.11	8.69	9.33	9.47	278	295	
613	CE613	Cumple	3.62	4.17	3.86	1616000	2611000	1180000	1630000	1.87	1.13	0.87	8.28	8.25	6.75	8.25	8.29	9.42	11.23	8.98	9.81	10.32	427	512	
614	CE614	Cumple	3.33	3.68	3.41	1417000	2402000	974800	1431000	1.66	0.98	0.79	8.30	8.21	6.96	8.26	8.26	9.17	10.99	8.56	9.58	9.76	336	384	
615	CE615	Cumple	3.08	3.28	3.05	1253000	2278000	827900	1263000	1.49	0.85	0.72	8.33	8.24	7.26	8.31	8.31	9.03	10.73	8.42	9.34	9.34	253	255	
616	CE616	Cumple	3.81	4.66	4.25	2231000	3076000	1408000	2234000	2.08	1.30	0.92	8.37	8.33	6.89	8.37	8.52	9.57	12.42	9.66	10.25	10.97	479	583	
617	CE617	Cumple	3.50	4.09	3.71	1646000	2788000	1124000	1654000	1.82	1.09	0.83	8.36	8.21	6.84	8.34	8.37	9.43	11.27	8.81	9.81	10.28	394	466	
618	CE618	Cumple	3.22	3.62	3.29	1475000	2603000	931900	1483000	1.61	0.94	0.75	8.37	8.21	6.96	8.35	8.35	9.20	11.02	8.48	9.57	9.74	308	336	
619	CE619	Cumple	4.02	5.20	4.72	2850000	3628000	1719000	2857000	2.28	1.52	0.98	8.48	8.55	7.29	8.48	8.86	9.27	14.45	11.19	11.47	12.11	524	645	
620	CE620	Cumple	3.67	4.57	4.08	2193000	3254000	1322000	2191000	2.02	1.24	0.87	8.46	8.27	6.98	8.46	8.59	9.63	12.12	9.43	10.16	10.93	448	541	
621	CE621	Cumple	3.38	3.99	3.57	1687000	2981000	1064000	1690000	1.77	1.05	0.79	8.43	8.20	6.93	8.42	8.43	9.43	11.32	8.68	9.79	10.22	364	417	
622	CE622	Cumple	3.49	2.98	3.24	989900	1806000	971800	1035000	1.44	0.94	0.87	8.22	8.73	7.51	7.96	7.96	8.74	11.98	9.62	9.05	9.32	314	348	
623	CE623	Cumple	3.17	2.60	2.86	757200	1727000	839000	798500	1.32	0.82	0.78	8.28	8.78	7.76	8.06	8.06	8.75	11.62	9.38	8.86	8.93	211	198	
624	CE624	Cumple	2.87	2.29	2.53	586700	1700000	735000	625900	1.22	0.73	0.71	8.35	8.83	7.97	8.17	8.17	8.84	11.37	9.24	8.78	8.78	130	94	
625	CE625	Cumple	3.67	3.32	3.52	1131000	2105000	1090000	1176000	1.58	1.04	0.90	8.26	8.69	7.17	8.02	8.02	8.91	12.32	9.74	9.26	9.85	378	445	
626	CE626	Cumple	3.34	2.88	3.09	958500	1976000	924300	994900	1.42	0.91	0.81	8.29	8.70	7.48	8.08	8.08	8.81	11.90	9.44	9.06	9.28	274	288	
627	CE627	Cumple	3.03	2.53	2.73	744100	1917000	799700	777200	1.30	0.79	0.74	8.34	8.75	7.73	8.17	8.17	8.84	11.55	9.24	8.90	8.96	182	156	
628	CE628	Cumple	3.85	3.73	3.85	1272000	2467000	1239000	1325000	1.74	1.17	0.94	8.34	8.69	6.79	8.13	8.14	9.06	12.82	10.10	9.42	10.26	443	534	
629	CE629	Cumple	3.51	3.20	3.35	1116000	2263000	1027000	1152000	1.54	1.00	0.85	8.33	8.65	7.16	8.12	8.12	8.95	12.27	9.56	9.27	9.76	336	385	
630	CE630	Cumple	3.19	2.79	2.95	938100	2161000	874200	965800	1.39	0.87	0.77	8.35	8.68	7.47	8.18	8.18	8.88	11.82	9.29	9.06	9.25	238	235	
631	CE631	Cumple	3.66	3.73	3.76	1288000	2509000	1243000	1346000	1.73	1.12	0.89	8.28	8.53	6.87	8.14	8.19	9.18	12.20	9.44	9.66	10.24	407	484	
632	CE632	Cumple	3.35	3.24	3.30	1188000	2332000	1042000	1213000	1.54	0.97	0.80	8.31	8.50	7.21	8.18	8.18	8.97	11.74	9.15	9.39	9.64	312	344	
633	CE633	Cumple	3.08	2.86	2.93	1002000	2237000	895200	1021000	1.40	0.84	0.73	8.35	8.54	7.49	8.24	8.24	8.92	11.38	8.94	9.15	9.23	226	222	
634	CE634	Cumple	3.85	4.23	4.15	1683000	2968000	1461000	1708000	1.93	1.27	0.94	8.37	8.58	6.81	8.26	8.39	9.38	13.08	10.01	10.01	10.71	473	578	
635	CE635	Cumple	3.53	3.65	3.61	1315000	2701000	1189000	1344000	1.69	1.08	0.84	8.36	8.48	6.84	8.25	8.28	9.20	12.18	9.30	9.67	10.21	375	440	
636	CE636	Cumple	3.24	3.19	3.19	1223000	2548000	1000000	1240000	1.51	0.93	0.76	8.37	8.48	7.20	8.28	8.28	9.02	11.72	9.02	9.39	9.63	285	303	
637	CE637	Cumple	4.07	4.85	4.64	2743000	3532000	1756000	2759000	2.14	1.50	0.99	8.48	8.69	7.21	8.43	8.74	9.37	15.09	10.91	10.65	11.52	522	644	
638	CE638	Cumple	3.71	4.14	3.99	1642000	3151000	1381000	1654000	1.88	1.22	0.89	8.45	8.52	6.91	8.37	8.47	9.45	12.89	9.77	9.94	10.69	439	531	
639	CE639	Cumple	3.40	3.58	3.48	1358000	2911000	1131000	1374000	1.65	1.04	0.80	8.43	8.46	6.92	8.34	8.36	9.22	12.16	9.18	9.66	10.16	344	398	
640	CE640	Cumple	3.81	4.59	4.31	2218000	3371000	1638000	2218000	2.04	1.33	0.91	8.38	8.49	6.97	8.37	8.59	9.70	13.12	9.73	10.50	11.05	477	581	
641	CE641	Cumple	3.50	3.98	3.75	1544000	3050000	1323000	1554000	1.78	1.12	0.82	8.38	8.38	6.88	8.34	8.43	9.37	12.10	9.08	9.98	10.50	390	457	
642	CE642	Cumple	3.23	3.50	3.31	1451000	2860000	1106000	1460000	1.58	0.97	0.75	8.39	8.36	7.06	8.36	8.37	9.14	11.60	8.78	9.63	9.87	308	337	
643	CE643	Cumple	4.03	5.21	4.85	2831000	4015000	2025000	2886000	2.24	1.57	0.98	8.51	8.70	7.48	8.51	8.98	9.72	15.29	10.67	11.17	12.03	524	646	
644	CE644	Cumple	3.69	4.51	4.17	2193000	3596000	1577000	2185000	1.99	1.29	0.87	8.49	8.45	7.07	8.48	8.69	9.72	13.05	9.65	10.42	11.07	450	546	
645	CE645	Cumple	3.40	3.93	3.64	1624000	3303000	1279000	1625000	1.74	1.09	0.78	8.46	8.36	6.98	8.43	8.52	9.41	12.12	8.99	9.98	10.51	366	421	
646	CE646	Cumple	4.29	6.19	5.67	4928000	4918000	2597000	4917000	2.63	1.91	1.07	8.85	9.06	8.45	8.68	9.36	9.60	19.13	14.74	13.97	15.70	564	691	
647	CE647	Cumple	3.91	5.14	4.70	2949000	4259000	1932000	2952000	2.20	1.52	0.93	8.65	8.59	7.60	8.65	9.10	9.83	15.15	10.49	11.10	12.00	501	614	
648	CE648	Cumple	3.59	4.43	4.04	2185000	3841000	1513000	2170000	1.94	1.24	0.83	8.58	8.42	7.15	8.57	8.77	9.74	13.01	9.53	10.34	11.09	423	509	
649	CE649	Cumple	2.85	2.28	2.42	529800	1115000	500500	543200	1.10	0.62	0.72	8.28	8.57	7.98	8.12	8.12	8.75	10.26	8.80	8.74	8.74	96	50	
650	CE650	Cumple	2.56	2.03	2.15	445200	1107000	437300	464200	1.03	0.55														

Tabla B.XIV. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 651 al 700.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balanc e (°)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Mx _{vz} (ton*m)	My _{vz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
651	CE651	Cumple	2.30	1.80	1.92	391700	1121000	385600	408600	0.98	0.49	0.57	8.48	8.74	8.30	8.36	8.36	8.93	10.15	8.77	8.81	8.81	33	6
652	CE652	Cumple	2.99	2.43	2.53	628300	1259000	536600	640900	1.17	0.67	0.74	8.26	8.51	7.83	8.10	8.10	8.76	10.33	8.77	8.81	8.81	133	95
653	CE653	Cumple	2.69	2.16	2.25	524500	1238000	465300	536200	1.08	0.59	0.67	8.35	8.59	8.01	8.22	8.22	8.82	10.21	8.72	8.78	8.78	73	33
654	CE654	Cumple	2.43	1.92	2.01	458900	1241000	407800	469200	1.01	0.52	0.60	8.44	8.67	8.18	8.33	8.33	8.91	10.15	8.72	8.81	8.81	45	10
655	CE655	Cumple	3.12	2.59	2.66	744900	1417000	576100	756500	1.25	0.73	0.77	8.25	8.45	7.65	8.10	8.10	8.80	10.44	8.76	8.89	8.89	176	148
656	CE656	Cumple	2.82	2.30	2.36	615000	1379000	494700	625900	1.14	0.63	0.69	8.33	8.53	7.87	8.20	8.20	8.82	10.27	8.69	8.83	8.83	101	57
657	CE657	Cumple	2.55	2.04	2.11	533100	1370000	430400	543100	1.06	0.56	0.62	8.41	8.61	8.05	8.31	8.31	8.89	10.17	8.67	8.83	8.83	61	24
658	CE658	Cumple	3.05	2.75	2.70	821800	1485000	592200	832600	1.29	0.73	0.74	8.25	8.32	7.60	8.17	8.17	8.84	10.16	8.52	9.01	9.01	178	151
659	CE659	Cumple	2.77	2.45	2.41	691700	1438000	511800	701900	1.18	0.64	0.67	8.33	8.41	7.81	8.26	8.26	8.85	10.03	8.48	8.92	8.92	111	70
660	CE660	Cumple	2.53	2.19	2.16	607500	1420000	448300	616900	1.09	0.57	0.60	8.42	8.49	8.00	8.36	8.36	8.91	9.97	8.50	8.90	8.90	72	30
661	CE661	Cumple	3.18	2.98	2.86	986700	1686000	647200	995600	1.39	0.80	0.77	8.25	8.26	7.39	8.17	8.17	8.93	10.30	8.52	9.13	9.14	230	228
662	CE662	Cumple	2.90	2.65	2.55	822300	1616000	551800	831500	1.26	0.70	0.70	8.32	8.34	7.64	8.25	8.25	8.89	10.12	8.45	9.00	9.00	149	116
663	CE663	Cumple	2.64	2.37	2.28	714000	1582000	478200	722400	1.15	0.61	0.63	8.39	8.43	7.85	8.34	8.34	8.91	10.01	8.44	8.95	8.95	98	53
664	CE664	Cumple	3.31	3.24	3.04	1166000	1911000	711700	1173000	1.51	0.88	0.80	8.26	8.22	7.16	8.20	8.20	9.06	10.45	8.59	9.27	9.32	284	299
665	CE665	Cumple	3.02	2.87	2.70	973000	1813000	597100	980700	1.34	0.76	0.72	8.31	8.29	7.45	8.26	8.26	8.94	10.25	8.44	9.11	9.11	192	168
666	CE666	Cumple	2.76	2.56	2.40	835000	1760000	540500	842600	1.22	0.66	0.65	8.38	8.37	7.70	8.33	8.33	8.93	10.08	8.40	9.01	9.01	130	93
667	CE667	Cumple	3.19	3.28	3.00	1201000	1905000	711700	1217000	1.50	0.85	0.77	8.25	8.14	7.23	8.24	8.24	9.03	10.16	8.32	9.33	9.33	262	268
668	CE668	Cumple	2.92	2.93	2.67	1016000	1810000	604100	1030000	1.34	0.74	0.69	8.32	8.22	7.50	8.30	8.30	8.94	9.99	8.25	9.15	9.15	182	154
669	CE669	Cumple	2.68	2.63	2.39	884000	1755000	522200	897000	1.22	0.65	0.63	8.39	8.31	7.73	8.38	8.38	8.94	9.88	8.25	9.05	9.05	127	92
670	CE670	Cumple	3.32	3.58	3.20	1412000	2181000	797400	1427000	1.63	0.95	0.80	8.28	8.11	6.96	8.27	8.27	9.21	10.33	8.41	9.51	9.59	320	355
671	CE671	Cumple	3.04	3.17	2.84	1208000	2048000	663400	1221000	1.45	0.81	0.72	8.32	8.17	7.29	8.31	8.31	9.04	10.14	8.24	9.30	9.30	227	223
672	CE672	Cumple	2.79	2.84	2.54	1043000	1968000	586200	1054000	1.30	0.70	0.65	8.38	8.25	7.55	8.37	8.37	8.98	9.97	8.21	9.15	9.15	161	129
673	CE673	Cumple	3.47	3.91	3.45	1632000	2502000	904700	1644000	1.79	1.05	0.83	8.33	8.11	6.91	8.33	8.33	9.41	10.55	8.69	9.67	10.08	376	442
674	CE674	Cumple	3.17	3.44	3.03	1413000	2316000	734200	1424000	1.57	0.89	0.75	8.34	8.13	7.06	8.34	8.34	9.18	10.34	8.30	9.46	9.47	278	293
675	CE675	Cumple	2.90	3.07	2.69	1222000	2205000	680200	1231000	1.39	0.77	0.68	8.39	8.20	7.35	8.38	8.38	9.05	10.12	8.20	9.27	9.27	201	182
676	CE676	Cumple	3.01	2.36	2.54	632700	1410000	648000	648900	1.19	0.71	0.75	8.28	8.69	7.92	8.08	8.08	8.76	10.97	9.12	8.78	8.78	143	107
677	CE677	Cumple	2.70	2.08	2.24	510700	1397000	562700	543400	1.10	0.62	0.67	8.37	8.76	8.10	8.20	8.20	8.84	10.80	9.04	8.75	8.75	79	41
678	CE678	Cumple	2.42	1.83	1.98	437000	1411000	494200	475500	1.04	0.55	0.60	8.46	8.84	8.27	8.32	8.32	8.95	10.72	9.01	8.78	8.78	50	13
679	CE679	Cumple	3.16	2.56	2.70	775800	1602000	704400	790000	1.27	0.78	0.78	8.26	8.62	7.71	8.08	8.08	8.80	11.12	9.13	8.89	8.90	194	174
680	CE680	Cumple	2.84	2.25	2.38	616200	1567000	605200	629800	1.17	0.68	0.70	8.34	8.69	7.93	8.19	8.19	8.84	10.89	9.01	8.81	8.81	113	72
681	CE681	Cumple	2.56	1.99	2.11	520800	1565000	527100	532800	1.09	0.60	0.63	8.43	8.76	8.11	8.29	8.29	8.93	10.76	8.95	8.80	8.80	69	28
682	CE682	Cumple	3.31	2.79	2.88	944300	1819000	769100	955800	1.37	0.85	0.81	8.27	8.57	7.47	8.09	8.09	8.88	11.34	9.17	9.03	9.18	251	251
683	CE683	Cumple	2.99	2.44	2.54	745600	1755000	652400	757800	1.24	0.74	0.73	8.33	8.62	7.73	8.18	8.18	8.86	11.04	9.00	8.90	8.90	158	121
684	CE684	Cumple	2.70	2.15	2.24	620000	1735000	562600	630900	1.14	0.64	0.65	8.40	8.70	7.95	8.28	8.28	8.92	10.83	8.92	8.85	8.85	95	49
685	CE685	Cumple	3.20	2.91	2.90	1009000	1898000	788100	1033000	1.41	0.84	0.77	8.27	8.43	7.45	8.16	8.16	8.92	10.96	8.85	9.15	9.17	243	242
686	CE686	Cumple	2.91	2.56	2.57	822300	1828000	673300	842800	1.27	0.73	0.70	8.33	8.49	7.71	8.25	8.25	8.90	10.72	8.74	9.00	9.00	160	125
687	CE687	Cumple	2.65	2.27	2.28	701800	1799000	584600	719400	1.17	0.64	0.63	8.41	8.57	7.91	8.34	8.34	8.94	10.58	8.71	8.93	8.93	107	64
688	CE688	Cumple	3.35	3.20	3.12	1203000	2172000	879200	1226000	1.53	0.94	0.81	8.29	8.39	7.18	8.19	8.19	9.07	11.21	8.91	9.35	9.54	303	326
689	CE689	Cumple	3.05	2.81	2.75	1006000	2065000	737900	1024000	1.37	0.81	0.73	8.33	8.43	7.48	8.25	8.25	8.96	10.91	8.74	9.14	9.14	207	194
690	CE690	Cumple	2.78	2.49	2.44	846600	2011000	632200	861600	1.24	0.70	0.66	8.39	8.50	7.73	8.33	8.33	8.96	10.69	8.67	9.01	9.01	141	104
691	CE691	Cumple	3.51	3.55	3.37	1367000	2490000	992000	1387000	1.68	1.05	0.84	8.34	8.37	6.89	8.25	8.25	9.28	11.44	9.10	9.51	9.97	365	419
692	CE692	Cumple	3.19	3.09	2.95	1201000	2331000	813900	1217000	1.48	0.89	0.76	8.35	8.39	7.23	8.28	8.28	9.07	11.16	8.79	9.32	9.44	261	266
693	CE693	Cumple	2.91	2.72	2.61	1015000	2246000	698300	1028000	1.33	0.76	0.68	8.39	8.45	7.53	8.34	8.34	9.01	10.86	8.66	9.13	9.13	181	153
694	CE694	Cumple	3.34	3.52	3.27	1420000	2459000	975400	1436000	1.64	0.99	0.79	8.30	8.27	7.01	8.27	8.27	9.22	11.07	8.68	9.60	9.78	330	375
695	CE695	Cumple	3.06	3.10	2.88	1242000	2317000	813300	1254000	1.46	0.85	0.72	8.34	8.31	7.34	8.32	8.32	9.05	10.78	8.52	9.34	9.34	240	239
696	CE696	Cumple	2.80	2.76	2.56	1061000	2236000	694400	1070000	1.31	0.73	0.65	8.40	8.38	7.60	8.38	8.38	9.01	10.56	8.46	9.16	9.16	170	140
697	CE697	Cumple	3.51	3.92	3.56	1645000	2853000	1127000	1655000	1.81	1.11	0.83	8.36	8.29	6.92	8.34	8.38	9.49	11.35	8.95	9.83	10.30	391	459
698	CE698	Cumple	3.20	3.42	3.11	1461000	2643000	914900	1471000	1.59	0.94	0.75	8.37	8.27	7.05	8.35	8.35	9.21	11.07	8.58	9.57	9.71	295	316
699	CE699	Cumple	2.93	3.03	2.75	1279000	2523000	766100	1286000	1.41	0.81	0.68	8.40	8.32	7.37	8.39	8.39	9.09	10.76	8.45	9.32	9.32	214	204
700	CE700	Cumple	3.68	4.31	3.90	2089000	3293000	1332000	2091000	1.99	1.27	0.88	8.45	8.38	7.03	8.45	8.57	9.64	12.37	9.60	10.13	10.88	443	535

Tabla B.XV. Resumen de respuestas máximas más probables para cada variable. Casos de estudio del 701 al 729.

No.	CASO	Requisito de Estabilidad	Arfada (m)	Cabeceo (°)	Balaceo (°)	M _{xvz} (ton*m)	M _{yvz} (ton*m)	M _{xvz} (ton*m)	M _{yvz} (ton*m)	Acc _x (m/s ²)	Acc _y (m/s ²)	Acc _z (m/s ²)	P1 _{CENTRO} AGIW (m)	P2 _(x) AGIW (m)	P3 _(x) AGIW (m)	P4 _(y) AGIW (m)	P5 _(y) AGIW (m)	P1 _{CENTRO} AGTW (m)	P2 _(x) AGTW (m)	P3 _(x) AGTW (m)	P4 _(y) AGTW (m)	P5 _(y) AGTW (m)	Puntaje total	Selección del CE
701	CE701	Cumple	3.36	3.78	3.38	1661000	3023000	1044000	1667000	1.74	1.05	0.78	8.43	8.27	7.01	8.42	8.43	9.45	11.37	8.76	9.79	10.18	352	406
702	CE702	Cumple	3.07	3.32	2.97	1501000	2845000	889400	1506000	1.53	0.89	0.71	8.43	8.28	7.13	8.43	8.43	9.22	11.05	8.50	9.52	9.64	264	275
703	CE703	Cumple	3.17	2.49	2.70	766400	1748000	831900	806900	1.26	0.81	0.78	8.28	8.82	7.82	8.06	8.06	8.75	11.68	9.48	8.86	8.95	200	180
704	CE704	Cumple	2.84	2.17	2.37	581600	1720000	718300	642500	1.16	0.70	0.70	8.36	8.87	8.03	8.18	8.18	8.85	11.41	9.31	8.78	8.78	118	81
705	CE705	Cumple	2.55	1.89	2.08	476700	1729000	628700	558000	1.09	0.62	0.62	8.45	8.94	8.22	8.29	8.29	8.98	11.24	9.23	8.78	8.78	73	32
706	CE706	Cumple	3.34	2.75	2.91	965500	2000000	917200	1002000	1.37	0.89	0.81	8.29	8.75	7.55	8.08	8.08	8.81	11.98	9.56	9.06	9.30	263	271
707	CE707	Cumple	3.00	2.39	2.55	730800	1937000	781300	764100	1.24	0.77	0.73	8.35	8.80	7.81	8.18	8.18	8.84	11.58	9.32	8.88	8.95	166	136
708	CE708	Cumple	2.71	2.08	2.24	584200	1924000	676800	617900	1.15	0.67	0.65	8.42	8.86	8.03	8.28	8.28	8.95	11.34	9.20	8.82	8.82	101	59
709	CE709	Cumple	3.51	3.04	3.16	1122000	2290000	1020000	1158000	1.49	0.99	0.85	8.33	8.72	7.24	8.12	8.12	8.95	12.36	9.69	9.27	9.77	325	365
710	CE710	Cumple	3.16	2.62	2.75	918300	2180000	853400	946700	1.33	0.85	0.76	8.36	8.74	7.57	8.19	8.19	8.88	11.85	9.38	9.04	9.23	216	208
711	CE711	Cumple	2.86	2.28	2.41	720000	2138000	730100	745600	1.22	0.73	0.68	8.41	8.80	7.83	8.27	8.27	8.94	11.50	9.20	8.90	8.97	139	99
712	CE712	Cumple	3.36	3.10	3.14	1193000	2374000	1039000	1220000	1.51	0.97	0.80	8.31	8.56	7.27	8.18	8.18	8.99	11.83	9.27	9.40	9.66	303	327
713	CE713	Cumple	3.05	2.70	2.75	987400	2267000	877000	1009000	1.35	0.83	0.72	8.35	8.60	7.57	8.25	8.25	8.93	11.42	9.03	9.14	9.22	209	195
714	CE714	Cumple	2.78	2.38	2.43	806700	2220000	755900	824600	1.23	0.72	0.65	8.42	8.66	7.81	8.34	8.34	8.99	11.17	8.92	9.00	9.00	142	105
715	CE715	Cumple	3.53	3.49	3.44	1314000	2749000	1186000	1357000	1.67	1.09	0.84	8.36	8.55	6.92	8.25	8.28	9.23	12.29	9.43	9.69	10.23	368	428
716	CE716	Cumple	3.21	3.01	2.99	1210000	2579000	978900	1229000	1.47	0.92	0.75	8.38	8.55	7.29	8.28	8.28	9.03	11.76	9.12	9.37	9.60	266	279
717	CE717	Cumple	2.92	2.63	2.63	1008000	2493000	829800	1022000	1.32	0.79	0.68	8.42	8.60	7.58	8.34	8.34	9.01	11.38	8.93	9.14	9.22	185	159
718	CE718	Cumple	3.72	3.91	3.79	1594000	3186000	1381000	1619000	1.85	1.24	0.89	8.46	8.61	6.98	8.36	8.46	9.45	13.08	9.93	9.94	10.69	432	520
719	CE719	Cumple	3.38	3.36	3.27	1346000	2941000	1106000	1364000	1.61	1.03	0.79	8.43	8.53	7.00	8.34	8.36	9.22	12.21	9.28	9.65	10.12	326	367
720	CE720	Cumple	3.07	2.92	2.85	1231000	2801000	918000	1242000	1.42	0.88	0.71	8.44	8.55	7.32	8.37	8.37	9.08	11.69	9.00	9.34	9.54	235	232
721	CE721	Cumple	3.51	3.81	3.60	1539000	3119000	1326000	1567000	1.77	1.14	0.82	8.38	8.45	6.96	8.34	8.44	9.43	12.24	9.21	10.02	10.51	387	453
722	CE722	Cumple	3.20	3.31	3.13	1441000	2905000	1086000	1452000	1.55	0.97	0.74	8.39	8.42	7.14	8.36	8.38	9.15	11.64	8.87	9.62	9.85	293	311
723	CE723	Cumple	2.93	2.92	2.76	1268000	2784000	916200	1275000	1.39	0.83	0.67	8.43	8.46	7.45	8.41	8.41	9.08	11.25	8.69	9.32	9.42	215	205
724	CE724	Cumple	3.70	4.29	4.00	2127000	3652000	1585000	2125000	1.97	1.32	0.87	8.49	8.54	7.14	8.47	8.68	9.75	13.28	9.79	10.46	11.05	447	540
725	CE725	Cumple	3.38	3.72	3.45	1598000	3348000	1255000	1603000	1.72	1.09	0.78	8.46	8.43	7.05	8.44	8.52	9.42	12.18	9.07	9.97	10.46	351	404
726	CE726	Cumple	3.09	3.25	3.01	1514000	3160000	1033000	1518000	1.51	0.93	0.71	8.46	8.42	7.15	8.45	8.45	9.20	11.62	8.78	9.59	9.81	268	283
727	CE727	Cumple	3.93	4.85	4.51	2930000	4282000	1937000	2953000	2.17	1.55	0.93	8.63	8.70	7.62	8.63	9.05	9.84	15.46	10.57	10.95	11.90	501	615
728	CE728	Cumple	3.56	4.19	3.83	2089000	3885000	1482000	2080000	1.91	1.25	0.82	8.58	8.47	7.22	8.57	8.75	9.78	13.03	9.57	10.34	11.01	413	492
729	CE729	Cumple	3.25	3.62	3.30	1673000	3599000	1183000	1672000	1.66	1.04	0.74	8.54	8.41	7.14	8.52	8.58	9.42	12.13	8.97	9.92	10.37	321	358