

Recebido:29/11/2018 Aprovado: 14/03/2019

MÉTODO SIMPLIFICADO PARA EL ANALISIS ESTRUCTURAL DE PLATAFORMAS MARINAS DE BASE FIJA SOMETIDAS A CARGAS DE OLEAJE

F. Ernest Claros⁽¹⁾ y Victor I. Fernández-Dávila⁽²⁾

RESUMEN

Las plataformas marinas son estructuras de acero que se encuentran en un ambiente rodeado por el agua de mar cumpliendo diferentes funciones como la exploración y explotación de recursos fósiles. Tal como es común en las estructuras, las plataformas marinas también tienen una vida útil, lo que significa que debe evaluarse su integridad estructural cada cierto periodo de tiempo. Por tal motivo, es necesario conocer el comportamiento estructural. Para cubrir tal necesidad en este trabajo se propone un método simplificado que permite obtener las respuestas elásticas de la estructura tales como: el periodo fundamental de vibración, el desplazamiento lateral máximo, la fuerza axial máxima y el momento flector máximo sobre el elemento más solicitado.

Para lograr tal objetivo se seleccionó un conjunto de cinco plataformas marinas y se realizó el análisis dinámico para determinar las respuestas de interés sobre las estructuras originales a las cuales llamamos respuestas reales. Luego se estudiaron las características fundamentales de la estructura tales como: la altura total, la profundidad sumergida, los diámetros de los elementos principales y secundarios, el tipo de arriostre, y la fijación al fondo marino, y también se estudiaron las características correspondientes al oleaje tales como: la altura de la ola, el periodo de la ola. De esta manera, fue factible analizar éste tipo no convencional de estructuras en forma paramétrica mediante un conjunto de casos generados a partir de una combinatoria de los diferentes valores de los parámetros en estudio. Las estructuras paramétricas también fueron analizadas debido a la acción de las cargas del oleaje obteniéndose respuestas que fueron calibradas o ajustadas con las respuestas reales obtenidas inicialmente.

Cada una de las respuestas de la estructura consideradas de interés se graficaron teniendo en cuenta la variación de los parámetros adoptados. Se analizó la forma en que la respuesta varía cuando variaron los parámetros elegidos y se apreció la tendencia que mostraba cada gráfica. Se propuso expresiones analíticas que pueden ser usadas para estimar las respuestas de interés como el periodo fundamental de vibración, el desplazamiento lateral máximo, la fuerza axial máxima y el momento flector máximo.

De este trabajo se obtuvo conclusiones cualitativas y cuantitativas. Las conclusiones cualitativas fueron: Los parámetros considerados son válidos para representar la estructura y las condiciones que lo rodean. El modelo simplificado empleado resulta muy útil para realizar un análisis dinámico y obtener respuestas de interés de una manera ágil. Las conclusiones cuantitativas extraídas fueron: Las expresiones propuestas otorgan una buena aproximación alcanzando errores relativos máximos del 12% para la estimación del periodo fundamental de la estructura, 30% para la estimación del desplazamiento lateral máximo de la estructura, 32% para la estimación de la fuerza axial máxima y 29% en la estimación del momento flector máximo en el elemento más solicitado, valores útiles para obtener referencias iniciales de las respuestas de interés.

Palabras clave: Plataforma marina fija, modelo paramétrico, oleaje, método simplificado.

⁽¹⁾ Bach. Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. ernestcq@gmail.com

⁽²⁾ Profesor. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Rímac 15333, Lima, Perú. vifdavila@uni.edu.pe

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras offshore son estructuras no convencionales que se encuentran ubicadas en el ambiente marino. Estas estructuras se encuentran rodeadas por las aguas de mar cumpliendo diferentes funciones tales como exploración, perforación y explotación de recursos fósiles como el crudo y el gas. Estas estructuras, al igual que otras, tienen un tiempo de vida útil, y dada la tendencia actual de reutilizar las estructuras existentes, estas pueden ser removidas para ser emplazadas en otro lugar y seguir cumpliendo una función similar o ser reforzadas en caso sea necesario.

Por ello resulta necesario evaluar la condición operativa e integridad de la estructura. A partir de ésta necesidad es que el presente trabajo propone un método simplificado para evaluar el comportamiento estructural con el objetivo de predimensionar las plataformas marinas fijas nuevas o evaluar estructuras existentes de una manera rápida con información aceptable a través de la estimación de respuestas de interés tales como: el periodo fundamental de vibración, el desplazamiento lateral máximo, la fuerza axial máxima y el máximo momento flector sobre el elemento más solicitado.

La metodología empleada aquí fue la parametrización estructural. La parametrización consiste en la identificación de las características más relevantes que definen una estructura y con tales características es posible representar a un conjunto de estructuras similares (Fernández-Dávila, 2000).

Mediante la parametrización estructural, a partir de un conjunto de cinco modelos estructurales (ver Figs. 5 al 9) tomando en cuenta sus características geométricas, dinámicas y de sitio se elaboró un modelo estructural que considere tales características como parámetros. Luego, se amplió la cantidad de casos de estructuras, obteniéndose una familia amplificada de estructuras paramétricas, al combinar los diferentes valores que podían adoptar cada uno de los parámetros o características elegidas en estudio. Esta familia amplificada de estructuras paramétricas se analizó de la misma manera tal como fue analizada la familia reducida de estructuras originales obteniéndose así las respuestas de interés para los casos paramétricos.

Posteriormente se generaron expresiones básicas T_0 , Δ_0 , N_1 y M_0 . Estas expresiones básicas fueron calibradas a través de factores (f_h , f_{No} , f_e , f_a) que involucran los parámetros en estudio comparando los resultados de las estructuras analizadas inicialmente con los resultados obtenidos del análisis de las estructuras paramétricas. De esta manera se obtuvieron las ecuaciones del método simplificado aquí propuesto.

2. CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE MARINO

Las estructuras offshore, además de estar sometidas a condiciones habituales de operación como cualquier otra estructura, tienen que interactuar con el agua de mar que se encuentra en permanente movimiento al estar ubicadas en el ambiente marino oceánico. Las olas son la principal causa de inactividad y reducida eficiencia operativa de esta estructura; por lo tanto, las fuerzas que producen el oleaje constituyen la principal fuente de sollicitación (Gerwick, 2007).

Una ola se define como una perturbación que viaja sobre la superficie del mar. La perturbación viaja, pero las partículas de agua contenidas en la ola se mueven en una órbita elíptica casi cerrada, con un pequeño movimiento de avance neto (API, 2000).

Para evaluar las fuerzas que se producen por la interacción fluido-estructura, sobre una estructura offshore o sobre alguno de sus elementos, es necesario conocer el flujo que lo rodea.

2.1. Teoría Lineal de Airy

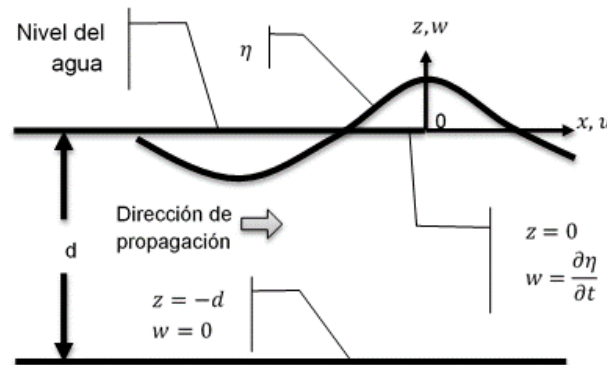


Figura 1: Definición de la ola en un sistema de coordenadas X-Z (Wilson, 2003).

Una representación matemática que permita estudiar el flujo de agua circundante es mediante la teoría lineal de Airy; la cual permite cuantificar el efecto del oleaje sobre la estructura a través de la Ec. (1).

$$\eta = A_w \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad (1)$$

Siendo A_w la Amplitud de la ola, ω es la frecuencia de oscilación de la ola, y k es el número de olas.

2.2. Fuerza sobre los elementos circulares – Ecuación de Morison.

Las fuerzas hidrodinámicas sobre elementos cilíndricos se calculan mediante el uso de una fórmula semi-empírica extensamente utilizada, denominada ecuación de Morison (Morison *et al.*, 1850).

La fuerza propuesta por Morison (Ec. (2)) es una suma de fuerzas hidrodinámicas de inercia y de arrastre. La fuerza de arrastre es una función de la velocidad mientras que la fuerza de inercia es función de la aceleración.

$$f = \rho \cdot C_M \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \ddot{u} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot |\dot{u}| \cdot \dot{u} \quad (2)$$

Donde:

f = fuerza hidrodinámica normal al cilindro.

D = Diámetro exterior del elemento.

C_D = Coeficiente de arrastre.

C_M = Coeficiente de inercia.

ρ = Densidad del agua.

$\dot{u}$ = Velocidad de la partícula de agua.

$\ddot{u}$ = Aceleración de la partícula de agua.

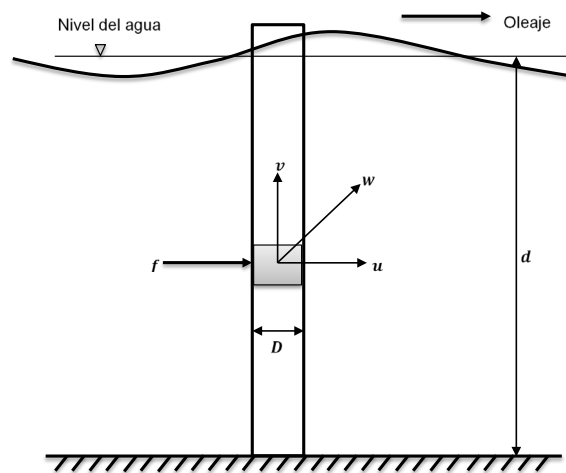


Figura 2: Fuerza puntual sobre elementos cilíndricos (u : desplazamiento lateral, v : desplazamiento vertical y w : desplazamiento resultante). (Chakrabarti, 2005, Vol. I).

La Fig. 3 muestra la distribución de la fuerza a lo largo de la porción sumergida de un elemento cilíndrico.

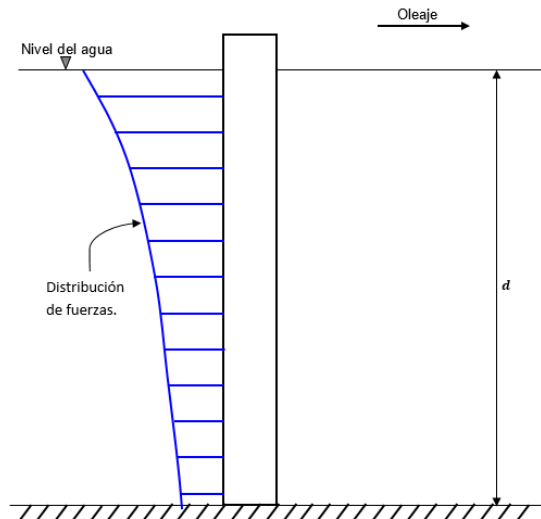


Figura 3: Distribución de la fuerza de oleaje sobre elementos cilíndricos.

3. MODELO ESTRUCTURAL

Con la finalidad de realizar un estudio paramétrico se seleccionaron cinco modelos estructurales reales de plataformas marinas fijas o Jackets (Figs. 5 al 9). Estas estructuras fueron extraídas principalmente de la literatura especializada (Sunder & Connor, 1981; Beltrán y Cerrolaza, 1989; Harish *et al.*, 2010; Zeinoddini *et al.*, 2012). A través de estos modelos de estructuras fue posible generar una familia reducida de casos reales a fin de determinar los parámetros elásticos más incidentes en la estimación de las respuestas dinámicas de las estructuras sometidas a la acción del oleaje.

En la tabla 1 se puede observar las dimensiones y características para cada plataforma marina.

3.1. Característica estructural de la plataforma marina

Las plataformas marinas constan básicamente de tres partes: la superestructura, la subestructura y la cimentación. La superestructura está compuesta por el equipamiento que se ubica en la parte superior de la estructura. La

subestructura corresponde al armazón tridimensional de elementos de acero y la cimentación se refiere a los elementos de soporte y fijación al fondo marino tal como se muestra en la Fig.4.

3.1.1. Masa

La masa global de una plataforma marina fija proviene de la masa de todos los elementos que conforman la subestructura o armazón tridimensional, así como también de la masa de la superestructura de la plataforma que se encuentra por encima de la superficie de agua.

Además, para considerar el efecto hidrodinámico del agua circundante se empleó la recomendación dada por Wilson (2003), quien sugiere considerar una masa adicional en los extremos de los elementos sumergidos equivalente al 37.5% de la masa desplazada por el volumen del elemento.

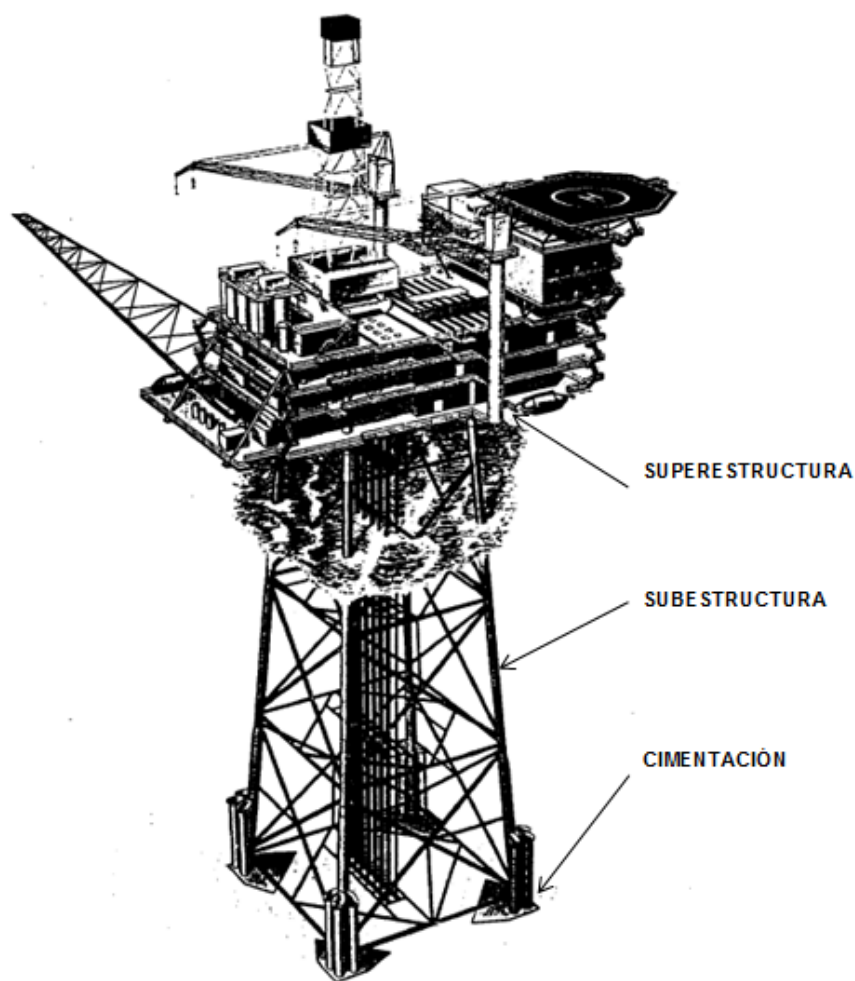


Figura 4: Partes de una plataforma marina (Mather, 1995).

Tabla 1: Datos de la Familia reducida de modelos en estudio (Figs. 5 al 9).

ID MODELO	Datos geométricos							
	h	H	ϕ_p	ϕ_s	Arriostre	A_w	T_w	N_0

M-1	31.70	44.20	865	355	K	3.65	6.92	*
M-2	35.00	51.00	850	600	K	3.00	9.00	*
M-3	97.40	123.00	1575	915	K	6.00	9.20	*
M-4	198	220.00	1500	1250	X	14.86	21.66	*
M-5	66.80	72.80	1656	700	X	10.00	12.15	*

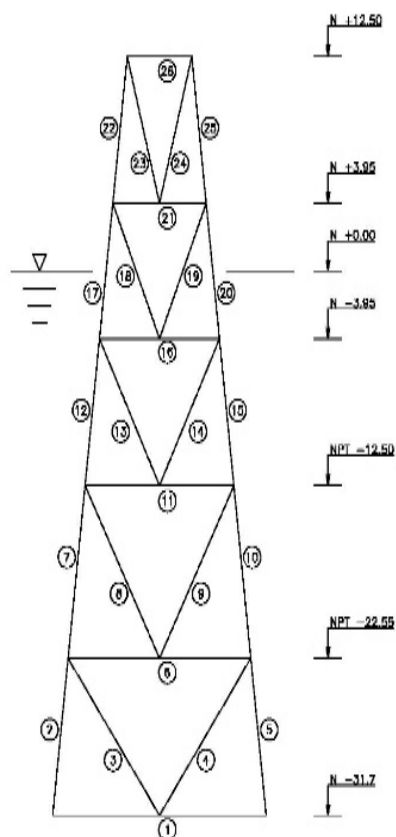


Figura 5: Modelo M-1.

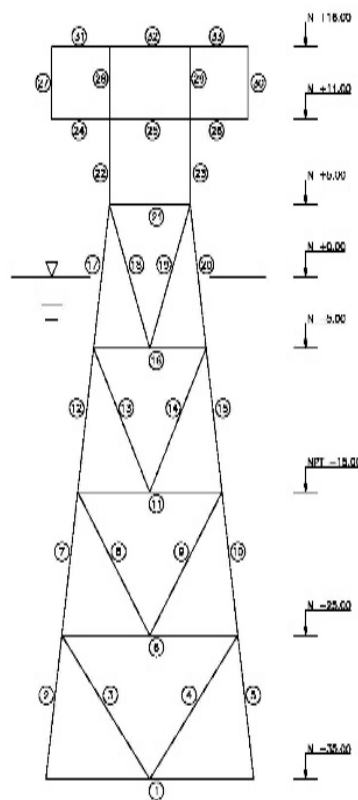


Figura 6: Modelo M-2.

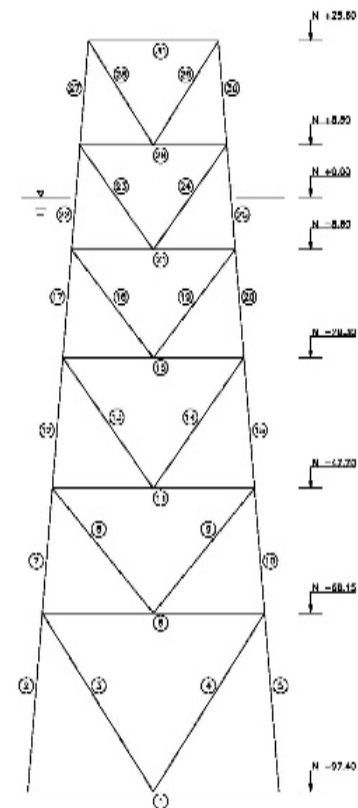


Figura 7: Modelo M-3.

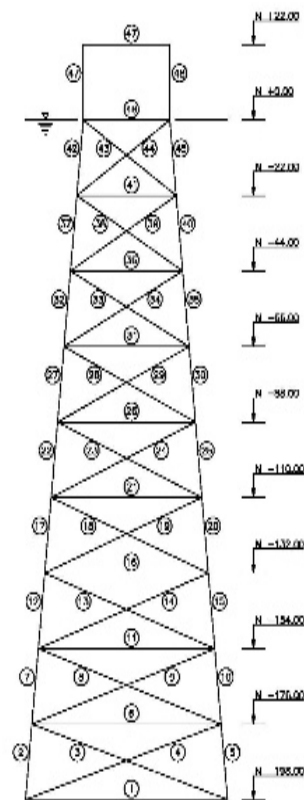


Figura 8. Modelo M-4.

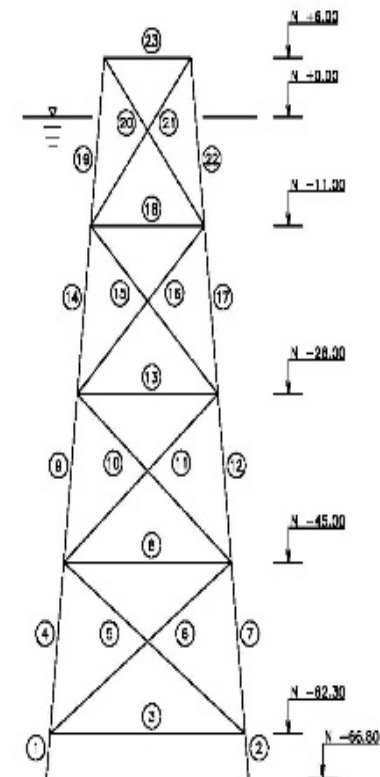


Figura 9: Modelo M-5.

3.1.2. Matriz de Rigidez

La rigidez global de la estructura se obtuvo a partir del ensamble de las rigideces de todos los elementos que conforman la estructura bidimensional. Cada elemento estructural fue modelado como un elemento unidimensional tipo Frame con un total de 6 GDL (tres GDL en cada extremo del elemento) que considera los efectos axiales y de flexión, respectivamente. La matriz de rigidez para un elemento típico se muestra a continuación:

$$K = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

3.1.3. Matriz de Amortiguamiento

Se emplea la formulación de Rayleigh, la cual supone que la matriz de amortiguamiento C es una combinación lineal de la matriz de masa y rigidez tal como se muestra a continuación:

$$C = a \cdot M + b \cdot K \quad (3)$$

Donde a y b son coeficientes reales y se emplean los 2 primeros modos de vibración para obtener sus respectivos valores mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{2} \cdot \begin{bmatrix} 1/\omega_1 & \omega_1 \\ 1/\omega_2 & \omega_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Donde:

ω_1, ω_2 = frecuencias naturales del primero y segundo modo. (Rad/s)

ζ_1, ζ_2 = porcentaje de amortiguamiento (3 % en estructuras marinas fijas).

3.1.4. Fuerza de oleaje

Las fuerzas de oleaje se presentan sobre todo elemento de la estructura que se encuentra sumergido. Las fuerzas de oleaje se estimaron con la ecuación de Morison presentada anteriormente y se distribuye como se muestra en la Fig. 3.

3.2. Análisis dinámico de las plataformas marinas

El análisis dinámico que se realiza fue un análisis modal debido a que se supuso que las deformaciones son pequeñas y que la estructura permanece en el rango de comportamiento lineal.

La ecuación que gobierna el Movimiento es:

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{V}}(t) + \mathbf{C} \cdot \dot{\mathbf{V}}(t) + \mathbf{K} \cdot \mathbf{V}(t) = \mathbf{p}(t) \quad (5)$$

Dónde:

$\mathbf{K}$ = Matriz de rigidez, $\mathbf{C}$ = Matriz de amortiguamiento, $\mathbf{M}$ = Masa de la estructura, $\mathbf{p}(t)$ = Fuerzas normales sobre los elementos cilíndricos (Fuerza hidrodinámica de oleaje), $\mathbf{V}(t)$ = Matriz de desplazamientos, $\dot{\mathbf{V}}(t)$ = Matriz de velocidades y $\ddot{\mathbf{V}}(t)$ = Matriz de aceleraciones.

3.3. Resultados del análisis dinámico

Los resultados mostrados a continuación pertenecen al análisis dinámico realizado sobre la plataforma M-2 (Fig. 6) en un programa computacional de análisis estructural (Figs. 10 y 11). El análisis se realizó considerando la información de cada plataforma mostrada en las tablas 1 y 2. Se obtienen similares resultados para las demás estructuras.

Tabla 2: Información de la malla empleada en los modelos estructurales empleados.

Modelo estructural	Número de Nudos	Número de elementos
M-1	17	29
M-2	22	35
M-3	20	35
M-4	22	48
M-5	12	23

3.3.1. Periodos de vibración

Los modos de vibración son una ayuda para comprender la dinámica de la estructura. Además, los periodos sirven como una medida de la flexibilidad estructural y son útiles para prever la ocurrencia de resonancia. Del análisis dinámico se obtuvo los 3 primeros modos de vibración de la plataforma M-2.

Tabla 3: Periodos de vibración

MODO	PERÍODO T(s)
1	0.729
2	0.192
3	0.148

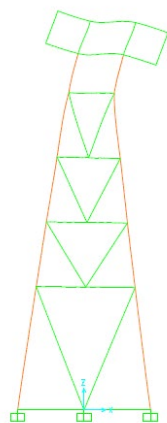


Figura 10: 1er Modo de Vibración.

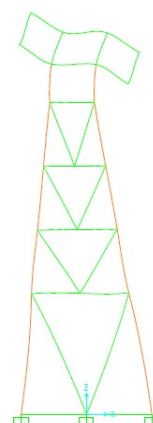


Figura 11: 2do Modo de vibración.

3.3.2. Desplazamiento lateral máximo.

El desplazamiento lateral máximo en la parte superior es una medida importante para el buen funcionamiento de la estructura en condiciones de servicio, por esta razón se elaboró una rutina propia del primer autor, que permitió realizar un análisis dinámico mediante el método de las diferencias centrales. La Fig. 11 muestra el desplazamiento lateral en un lapso de 30 segundos.

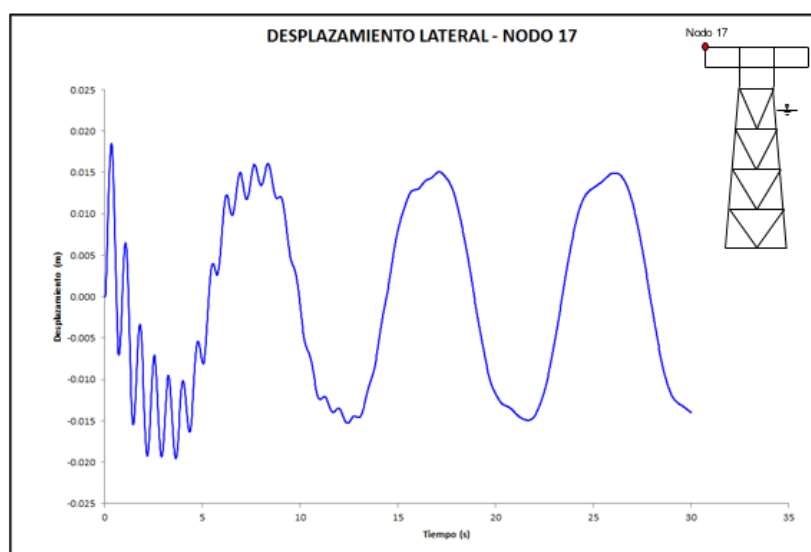


Figura 12: Variación en el tiempo del desplazamiento lateral en el punto más alto.

3.3.3. Fuerza axial.

Del análisis dinámico se obtuvo la fuerza axial sobre el elemento más solicitado. Esta respuesta es fundamental para el diseño de los elementos resistentes. La Fig. 12 muestra la variación de la fuerza axial en un lapso de 30 segundos obtenidas mediante la rutina elaborada para el elemento 1, el elemento más solicitado.

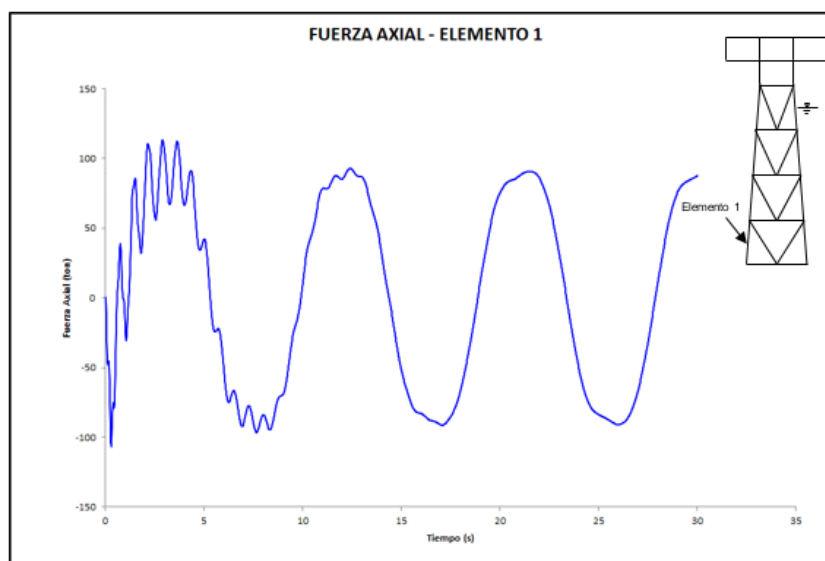


Figura 13: Variación en el tiempo de la fuerza axial sobre el elemento más solicitado.

3.3.4. Momento Flector.

De manera similar a la fuerza axial, el momento flector es un valor que se obtuvo del análisis dinámico y es útil para el diseño de los elementos resistentes. La Fig. 13 muestra la variación del momento flector en un lapso de 30 segundos obtenidas mediante la rutina elaborada en programa computacional para el elemento 1, el elemento más solicitado.

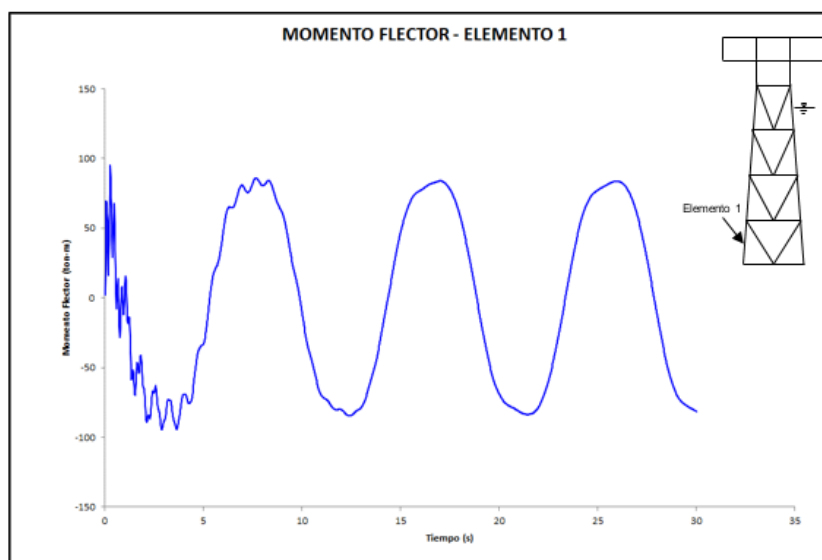


Figura 14: Variación en el tiempo del momento flector sobre el elemento más solicitado.

4. MODELOS PARAMÉTRICOS DE PLATAFORMAS MARINAS.

Se analizaron las características de los modelos estructurales presentados previamente para ampliar la cantidad de modelos a estudiar paramétricamente.

Las características geométricas que se analizaron fueron: la altura total de la estructura H , la profundidad sumergida de la estructura h , el diámetro del elemento principal ϕ_p , el diámetro del elemento secundario ϕ_s y el tipo de arriostre. Las características dinámicas que se consideran son: La altura de la ola A_w y el periodo de la ola T_w . La característica de sitio a considerar es el parámetro de sitio N_0 referido a la fijación al fondo marino.

En la Tabla 4 se aprecian los valores máximos y mínimos de los parámetros en consideración:

Tabla 4: Características de la familia reducida de casos reales – Modelos estudiados (Figs. 5 al 9).

ID MODELO	Parámetros geométricos							P. Dinámicos		P. Sitio
	h	H	h/H	ϕ_p	ϕ_s	ϕ_p/ϕ_s	Arriostre	A_w	T_w	N_0
M-1	31.70	44.20	0.72	865	355	2.44	K	3.65	6.92	*
M-2	35.00	51.00	0.68	850	600	1.42	K	3.00	9.00	*
M-3	97.40	123.00	0.80	1575	915	1.72	K	6.00	9.20	*
M-4	198	220.00	0.90	1500	1250	1.20	X	14.86	21.66	*
M-5	66.80	72.80	0.92	1656	700	2.37	X	10.00	12.15	*

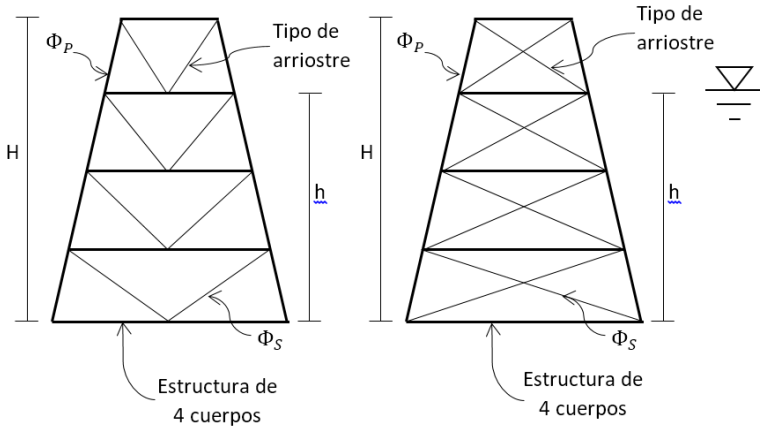


Figura 15: Características a analizar en los modelos de estudio.

De la tabla 4 se aprecia que los valores de los parámetros estudiados se encuentran comprendidos entre los siguientes valores:

- Parámetro h/H : mínimo 0.68 y máximo 0.92.
- Parámetro ϕ_p/ϕ_s : mínimo 1.20 y máximo 2.44.
- Parámetro Arriostre: K ó X.
- Parámetro A_w : mínimo 3 y máximo 14.86.
- Parámetro T_w : mínimo 6.92 y máximo 21.66.

*Las estructuras originales se consideraron empotradas en la base; sin embargo, en este estudio se analizaron también casos en los cuales se consideró la flexibilidad del suelo, esto se realizó a través del parámetro N_0 . Los valores del parámetro N_0 empleados fueron los recomendados en la literatura

especializada en el tema (Wilson, 2003), siendo el valor mínimo 4 ton/ft³ y un máximo de 34 ton/ft³ (fondo rígido y flexible respectivamente). Estos valores son valores empleados para suelos arenosos sumergidos (Wilson, 2003).

Considerando los valores máximos y mínimos señalados anteriormente; en la Tabla 5 se plantearon diferentes valores para los parámetros estudiados que fueron útiles para generar los modelos estructurales paramétricos.

Estos valores asignados a su vez limitan la validez de los estudios realizados y los resultados obtenidos.

Tabla 5: Valores de los parámetros empleados.

PARÁMETROS							
MODELOS	GEOMÉTRICOS			DINÁMICOS		SITIO	
	h/H	ϕ_P/ϕ_S	Arriostre	Aw	Tw	N_θ	
	0.65	1.00	TIPO K	3	6	4	
	0.75	1.50	TIPO X	7	11	14	
	0.85	2.00	---	11	16	24	
	0.95	2.50	---	15	21	34	
CASOS	4	4	2	4	4	4	2048

La cantidad de modelos posibles de estudiar resultó de la combinación de todos los valores considerados para los parámetros en estudio obteniendo un total de 2048 casos que conformaron la familia ampliada de modelos paramétricos:

4.1. Modelo estructural parametrizado

A partir de los parámetros definidos se elaboró un modelo paramétrico simplificado. El armazón bidimensional se convirtió en un modelo compuesto por elementos tipo barra y masas concentradas en sus extremos. Esta simplificación permitió realizar el análisis dinámico de una manera ágil.

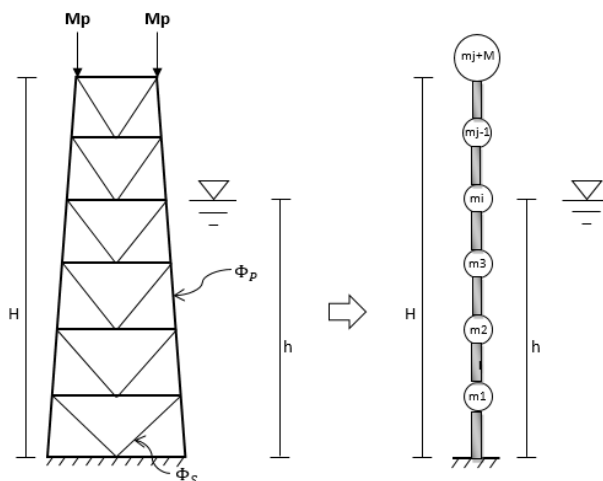


Figura 16: Modelo paramétrico simplificado.

4.1.1. Masa

Para el modelo simplificado paramétrico se concentró la masa en la parte central de cada tramo que a su vez coincide con el extremo de los elementos tipo barra. La masa concentrada consiste en la masa propia de los elementos metálicos y la masa adicional asociada a los elementos estructurales debido a la interacción fluido-estructura.

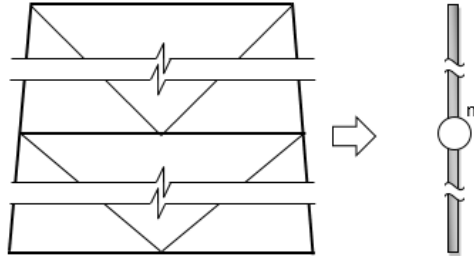


Figura 17: Consideración para la masa.

4.1.2. Rigidez

Cada tramo de la estructura bidimensional fue reemplazado por un elemento tipo barra con una rigidez equivalente tal como se muestra en la Fig. 18.

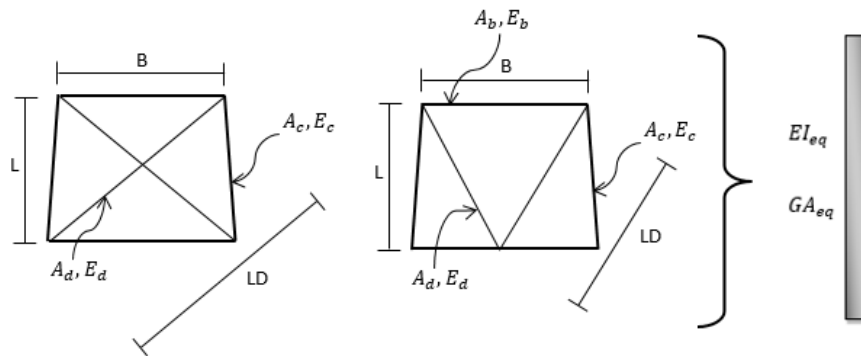


Figura 18: Elemento tipo barra con rigidez equivalente que reemplazó los tramos de la estructura.

$$EI_{eq} = \frac{B^2 \cdot A_c \cdot E_c}{2} \quad (6)$$

$$GA_{seq} = \frac{2 \cdot L \cdot B^2 \cdot A_d \cdot E_d}{(LD)^3} \quad (7)$$

Donde:

EI_{eq} : Rigidez equivalente a la flexión; B : Ancho superior del segmento; A_c : Área de los elementos principales (columnas); E_c : Módulo de elasticidad de los elementos principales; GA_{seq} : Rigidez equivalente al corte; A_d : Área de los elementos secundarios (diagonales); E_d : Módulo de elasticidad de los elementos secundarios y LD : Longitud del elemento diagonal;

4.1.3. Amortiguamiento

El amortiguamiento empleado aquí se basa en la propuesta de Rayleigh para obtener la matriz de amortiguamiento. Se consideró un amortiguamiento de 3%.

4.1.4. Fuerza de oleaje

Para el modelo simplificado se consideró que la fuerza hidrodinámica se aplica sobre la masa concentrada. Esto se realizó llevando las cargas distribuidas sobre los elementos sumergidos a los nudos de los elementos.

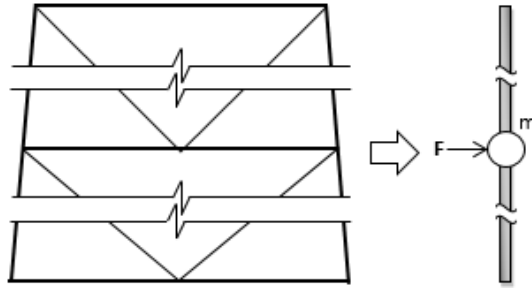


Figura 19: Fuerza equivalente concentrada.

5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MODELOS PARAMÉTRICOS.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del análisis dinámico de los modelos parametrizados para carga de oleaje.

5.1. Periodo fundamental

El periodo fundamental de vibración es una respuesta básica para estudiar el comportamiento dinámico de la estructura.

Del análisis dinámico llevado sobre los modelos paramétricos se obtuvo la Fig. 20 las cuales muestran la variación del periodo para cada valor del parámetro h/H , de acuerdo al tipo de arriostramiento y según la flexibilidad o rigidez de la fijación al fondo marino.

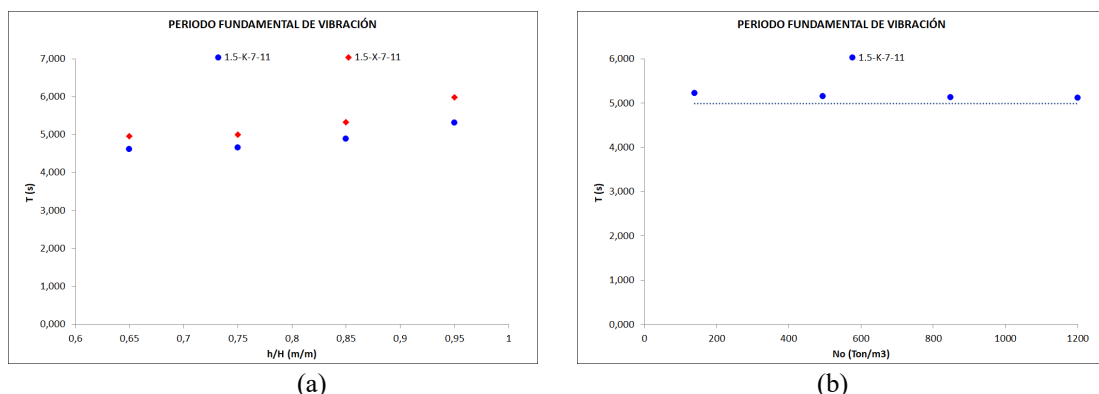


Figura 20: (a) Variación del periodo de vibración según el tipo de arriostramiento; (b) variación del periodo de acuerdo a la fijación en el fondo marino. La línea punteada representa empotramiento.

5.2. Desplazamiento lateral

El desplazamiento lateral es una respuesta de interés ya que está relacionada con el buen comportamiento de la estructura para condiciones de servicio.

Del análisis dinámico llevado sobre los modelos paramétricos se obtuvo la Fig. 21 la cual muestra la variación del desplazamiento lateral para cada valor del parámetro h/H y con la variación del parámetro de relación de diámetros.

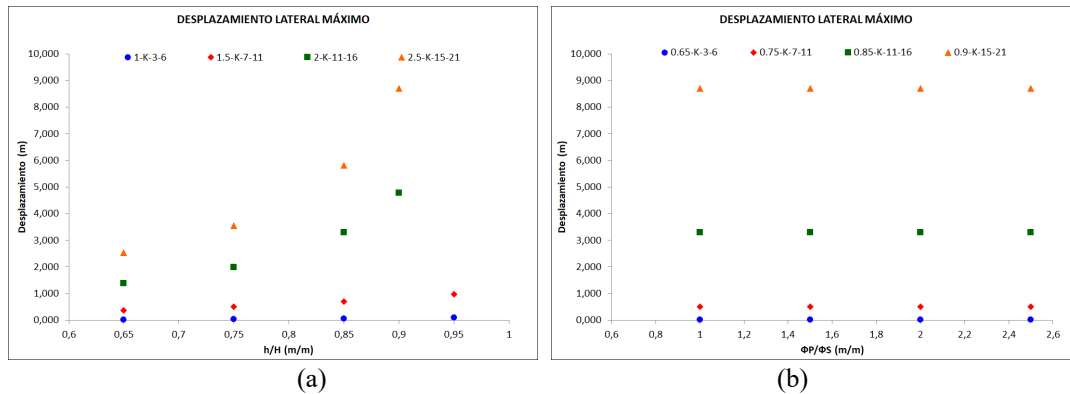


Figura 21: (a) Desplazamiento lateral vs parámetro h/H ; (b) Desplazamiento lateral vs parámetro de relación de diámetros.

En la Fig. 22 se muestran las variaciones del desplazamiento lateral de la estructura ante variaciones como el tipo de arrioste y variaciones del parámetro dinámico A_w .

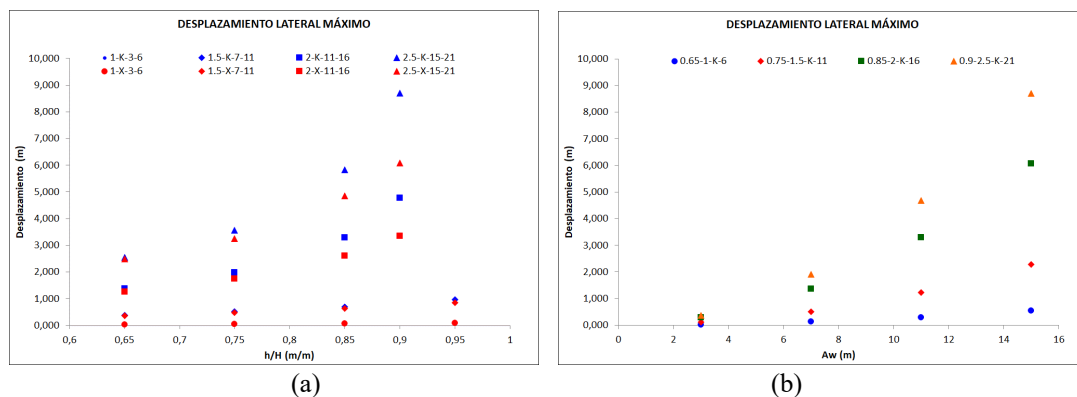


Figura 22: (a) Desplazamiento lateral vs el tipo de arrioste; (b) Desplazamiento lateral vs el parámetro amplitud de ola.

La Fig. 23 muestra las variaciones del desplazamiento lateral de la estructura cuando varían los parámetros T_w y N_o .

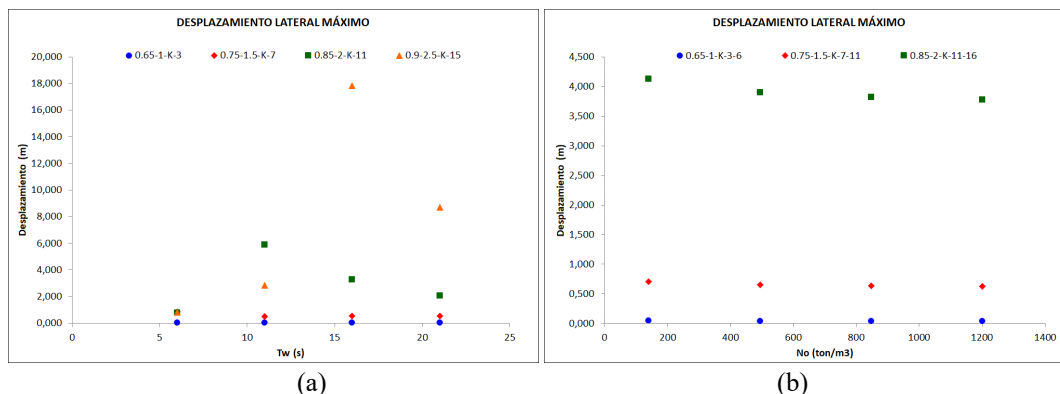


Figura 23: (a) Desplazamiento lateral vs periodo de la ola; (b) Desplazamiento lateral vs parámetro de sitio N_o .

5.3. Fuerza axial

Se obtuvo la Fig. 24 del análisis dinámico llevado sobre los modelos paramétricos y en ella se muestra la variación de la fuerza axial sobre el elemento más solicitado para cada valor del parámetro h/H y con la variación del parámetro de relación de diámetros.

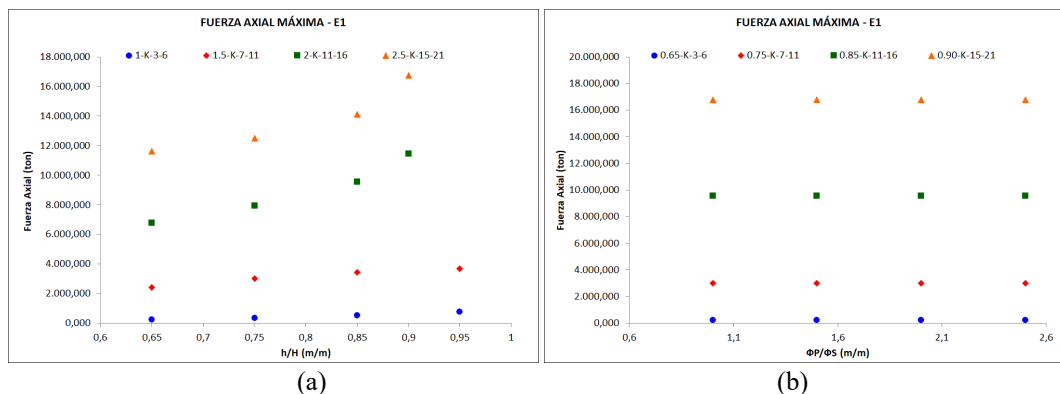


Figura 24: (a) Fuerza axial vs parámetro h/H ; (b) Fuerza axial vs parámetro de relación de diámetros.

En la Fig. 25 se muestran las variaciones de la fuerza axial cuando varía el tipo de arriostre y el valor del parámetro dinámico A_w .

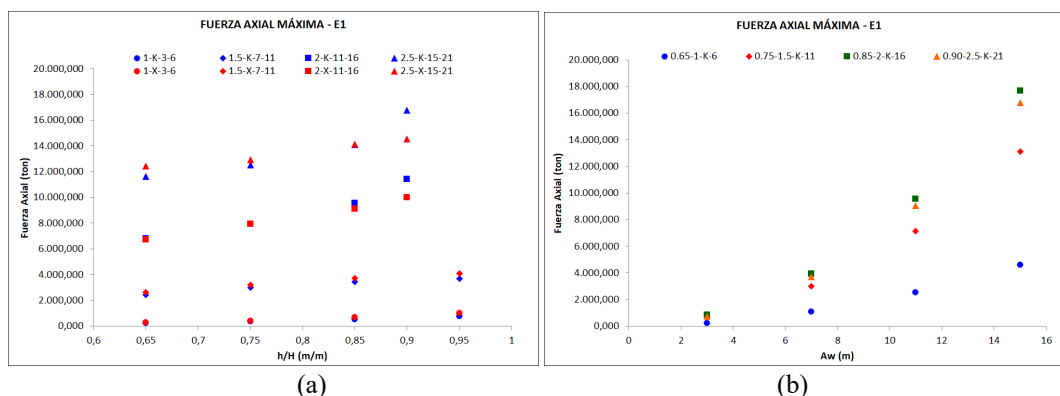


Figura 25: (a) Fuerza axial vs tipo de arriostre; (b) Fuerza axial vs parámetro A_w .

La Fig. 26 muestra las variaciones de la fuerza axial cuando varía los valores de los parámetros T_w y N_o .

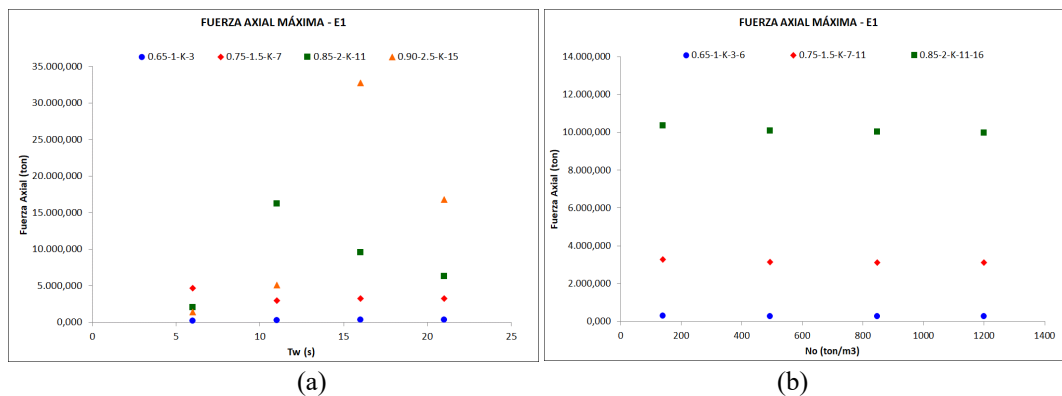


Figura 26: (a) Fuerza axial vs T_w ; (b) Fuerza axial vs parámetro N_o .

5.4. Momento Flector

Se extrae la Fig. 27 del análisis dinámico llevado sobre los modelos paramétricos, en ella se muestra la variación del Momento flector sobre el elemento más solicitado para cada valor del parámetro h/H y con la variación del parámetro de relación de diámetros.

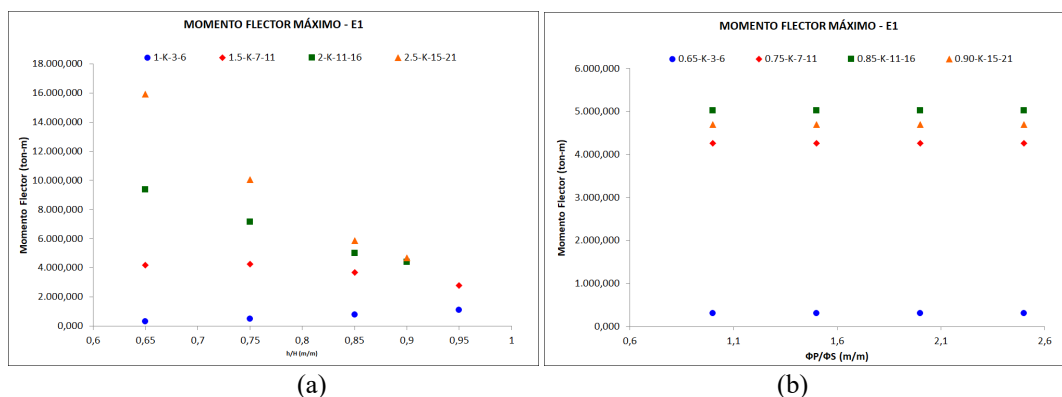


Figura 27: (a) Momento flector vs parámetro h/H ; (b) Momento flector vs parámetro de relación de diámetros.

En la Fig. 28 se muestran las variaciones del Momento flector ante variaciones como el tipo de arriestre y el valor del parámetro dinámico A_w .

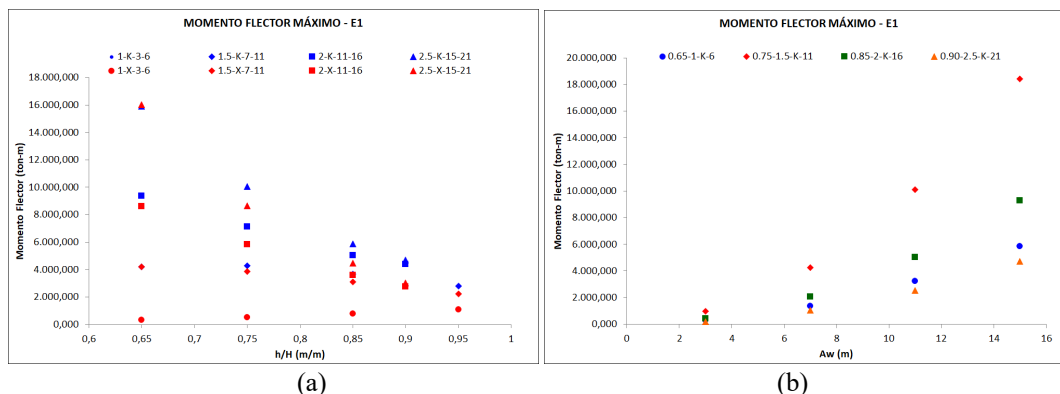


Figura 28: (a) Momento flector vs tipo de arriostre; (b) Momento flector vs parámetro A_w .

La Fig. 29 muestra las variaciones del Momento flector ante las variaciones de los parámetros T_w y N_o .

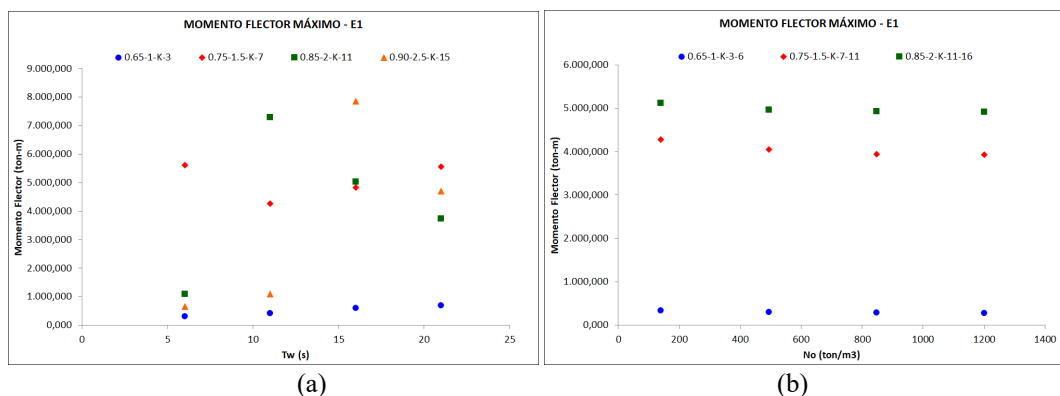


Figura 29: (a) Momento Flector vs T_w ; (b) Momento flector vs parámetro N_o .

6. MÉTODO SIMPLIFICADO

Se elaboró un método simplificado con el objetivo de predimensionar los elementos estructurales de una plataforma marina. Este método simplificado basado en los parámetros analizados permite obtener las respuestas de interés que ayuden a tomar decisiones iniciales cuando se tratan de proyectos como evaluación y reforzamiento estructural de las plataformas marinas.

El método simplificado que aquí se presenta tiene un rango de validez para las estructuras cuyos parámetros en su totalidad se encuentren dentro de los valores máximos y mínimos considerados en la tabla 5.

Los valores asignados a los parámetros en la tabla 6 limitan la validez de los resultados obtenidos mediante el método simplificado. El rango de valores para la aplicación del método simplificado debe encontrarse dentro de los valores máximos y mínimos señalados a continuación.

Tabla 6: Valores mínimos y máximos para la validez de los resultados del método simplificado.

Parámetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
h/H	0.65	0.95
ϕ_P/ϕ_S	1.00	2.50
A_w	3	15
T_w	6	21
N_0	4	34
Arriostre	Tipo K o X	

6.1. Estimación del periodo fundamental

En la Fig. 20 mostrada previamente se observan las variaciones y tendencias del periodo fundamental. Con ayuda de los gráficos extraídos del análisis de resultados se propuso una ecuación a partir de una estimación inicial T_0 que luego es modificada por factores de modificación (f_h, f_{No}, f_e, f_a) que tienen en cuenta los parámetros para cada caso. La Ec.(8) estima el periodo fundamental:

$$T_{ms} = T_0 \cdot f_h \cdot f_{No} \cdot f_e \cdot f_a \quad (8)$$

Tabla 7: Factores para la estimación de T_{ms} .

Factor	Ecuación	Ec.
T_0	$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{2 \cdot H^3 \cdot \left[(1-r)^3 \left((1-r) \cdot B + r \cdot b \right)^2 - b^2 \cdot (1-r)^3 + b^2 \right] \cdot \left(\frac{P}{g} \right)}{3\pi \cdot b^2 \cdot E \cdot e(D-e) \cdot [(1-r) \cdot B + r \cdot b]^2}}$	(9)
f_h	$f_h = \frac{(m \cdot r^2 + n \cdot r + p)}{H^{0.21} r^{2.5}}$ $m = (0.0006 \cdot H^2 - 0.1109 \cdot H + 6.18)$ $n = (-0.0007 \cdot H^2 + 0.1517 \cdot H - 9.18)$ $p = (0.0002 \cdot H^2 - 0.0518 \cdot H + 4.35)$	(10)
f_{No}	$f_{No} = f \cdot \ln N_0 + g$ $f = 0.055 \cdot r - 0.0522$ $g = -0.278 \cdot r + 1.2734$	(11)
f_e	$f_e = (0.0254^3 \cdot (D - 0.0254) / (-1.378 \cdot e^2 + 0.341884 \cdot e + 0.00013)^2)^{0.5}$	(12)
f_a	$\begin{array}{ll} \text{Tipo K} & f_a = 1.08 \\ \text{Tipo X} & f_a = 1.00 \end{array}$	(13)

*Ver lista de variables al final.

6.2. Estimación del desplazamiento lateral

Con ayuda de las Figs. 21 al 23 extraídas del análisis dinámico se calibraron las respuestas de los modelos paramétricos con las respuestas obtenidas del análisis de las plataformas iniciales (modelos M-1 al M-5) a las cuales llamaremos respuestas reales y se propuso la Ec. (14) que permite estimar el desplazamiento lateral máximo.

$$D_{ms} = \Delta_0 \cdot f_h \cdot f_{No} \cdot f_e \cdot f_a \quad (14)$$

Tabla 8: Factores para la estimación de D_{ms} .

Factor	Ecuación	Ec.
Δ_0	$\Delta_0 = \frac{r \cdot (3 - r) \cdot F}{3\pi \cdot E \cdot e(D - e) \cdot [(4 - r) \cdot B + r \cdot b]^2 \cdot H^{3.39} \cdot \beta^{0.91}}$	(15)
f_h	$f_h = 1390130.38 \cdot H^{4.235}$	(16)
f_{No}	$f_{No} = f \cdot \ln N_0 + g$ $f = 0.0014 \cdot H - 0.2806$ $g = -0.0075 \cdot H + 2.5738$	(17)
f_e	$f_e = (0.0254^3 \cdot (D - 0.0254) / (-1.378 \cdot e^2 + 0.341884 \cdot e + 0.00013)^2)^{0.5}$	(18)
f_a	<i>Tipo K</i> $f_a = 1.23$ <i>Tipo X</i> $f_a = 1.00$	(19)

*Ver lista de variables al final.

6.3. Estimación de la fuerza axial

Las respuestas que se muestran en las Figs. 24 al 26 para la fuerza axial se calibraron con las respuestas reales de las plataformas analizadas inicialmente y se propuso la Ec. (20) que permite estimar la fuerza axial:

$$N_{ms} = N_1 \cdot f_h \cdot f_{No} \cdot f_e \cdot f_a \quad (20)$$

Tabla 9: Factores para la estimación de N_{ms} .

Factor	Ecuación	Ec.
N_1	$N_1 = \frac{r \cdot (3 - r) \cdot F}{3\pi \cdot E \cdot e \cdot (D - e) \cdot [(4 - r) \cdot B + r \cdot b]^2 \cdot H^{3.39} \cdot \beta^{-0.32}}$	(21)
f_h	$f_h = 367906.40 \cdot H^{6.0245}$	(22)
f_{No}	$f_{No} = a \cdot \ln N_o + b$ $a = 0.0193 - \frac{6.4396}{H}$ $b = 0.9127 + \frac{31.494}{H}$	(23)
f_e	$f_e = 3.52 \cdot 10^{-2} \cdot B^{2.04} \cdot D^{-0.57} \cdot e^{-0.478} \cdot l^{-1.85}$	(24)
f_a	<i>Tipo K</i> $f_a = 0.98$ <i>Tipo X</i> $f_a = 1.00$	(25)

*Ver lista de variables al final.

6.4. Estimación del momento flector máximo.

Las respuestas que se muestran en las Figs. 27 al 29 para el momento flector extraídas del análisis dinámico se calibraron con las respuestas reales de las plataformas analizadas inicialmente y se propuso la Ec. (26) que permite estimar el momento flector:

$$M_{ms} = M_0 \cdot f_h \cdot f_{No} \cdot f_e \cdot f_a \quad (26)$$

Tabla 10: Factores para la estimación de M_{ms} .

Factor	Ecuación	Ec.
M_0	$M_0 = \frac{r^{-0.75} \cdot (D^{-2.39} + e^{-2.39}) \cdot F}{3\pi \cdot E \cdot e \cdot (D - e) \cdot [(4 - r) \cdot B + r \cdot b]^{2.78} \cdot \beta^{-2}}$	(27)
f_h	$f_h = 10.7 \cdot H^{3.59}$	(28)
f_{No}	$f_{No} = a \cdot \ln N_o + b \cdot H^{0.5}$ $a = 0.0007 \cdot H - 0.1434$	(29)

	$b = -0.0007 \cdot H + 0.1878$	
f_e	$f_e = 1.88 \cdot 10^{-8} \cdot B^{5.5} \cdot D^{-1.36} \cdot e^{-1.4993} \cdot l^{-2.72}$	(30)
f_a	Tipo K $f_a = 1.18$ Tipo X $f_a = 1.00$	(31)

*Ver lista de variables al final.

6.5. Ejemplo de aplicación del método simplificado

Las ecuaciones propuestas en el método simplificado permiten obtener las respuestas elásticas sobre una estructura real, por ello se aplican sobre las estructuras que conforman la familia reducida de modelos (modelos M-1 al M-5).

A continuación, se muestran los cálculos sobre la estructura M-2 (Fig. 6) de la bibliografía:

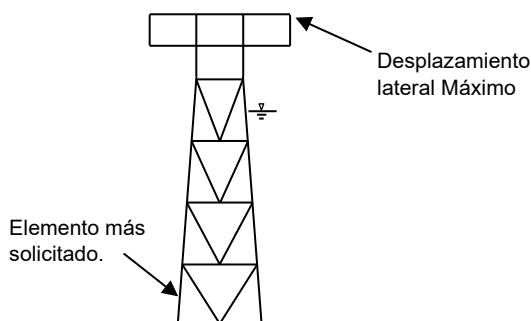


Figura 30: Ubicación de nudo y elemento de interés.

Datos:

Altura total (H)=	51.0 m	Ancho superior (b)=	7 m
Prof. sumergida (h)=	35.0 m	Tipo de Arriostre=	K
Diámetro principal (ϕ_p)	850 mm	Amplitud de ola (A_w) =	3 m
Diámetro secundario (ϕ_s)	600 mm	Periodo de la Ola (T_w)=	9 s
Espesor principal (e_p)	25 mm	Fijación en la base (N_0)=	>34 ton/pie3 (Empotrado)
Ancho inferior (B)	18 m	Peso en la cubierta=	180 ton

Estimación del Periodo fundamental de vibración:

Aplicando las Ec. (9) al (13) de la tabla 7 se obtuvo:

$T_0=$	0.685
$f_h=$	1.718
$f_e=$	0.47
$f_{No}=$	1.00
$f_a=$	1.08

El periodo estimado mediante el método simplificado se obtuvo multiplicando los valores obtenidos previamente de acuerdo a la Ec. (8):

$T_{ms} =$	$T_0 \cdot f_h \cdot f_{No} \cdot f_e \cdot f_a$
$T_{ms} =$	0.60 s

Estimación del Desplazamiento lateral máximo:

Aplicando las Ec. (15) al (19) de la tabla 8 se obtuvo:

$\Delta_0=$	8.868×10^{-16}
$\beta=$	15
$F_{Dp}=$	19.41 ton
$F_{Ds}=$	13.17 ton
$F=$	32.59 ton
$f_h=$	2.3693×10^{13}
$f_{No}=$	1
$f_e=$	0.886
$f_a=$	1.23

El desplazamiento lateral máximo estimado mediante el método simplificado se obtuvo multiplicando los valores obtenidos previamente de acuerdo a la Ec. (14):

$D_{ms} =$	$\Delta_0 \cdot f_h \cdot f_{No} \cdot f_e \cdot f_a$
$D_{ms} =$	0.0114 m

Estimación de la Fuerza axial máxima:

Aplicando las Ec. (21) al (25) de la tabla 9 se obtuvo:

$N_1=$	2.48×10^{-14}
$\beta=$	15
$F_{Dp}=$	19.41 ton
$F_{Ds}=$	13.17 ton
$F=$	32.59 ton
$f_h=$	7.13×10^{15}
$f_{No}=$	1

$f_e =$	1.157
$f_a =$	0.98

La fuerza axial máxima sobre el elemento más solicitado (Fig. 30) estimada mediante el método simplificado se obtiene multiplicando los valores obtenidos previamente de acuerdo a la Ec. (20):

$N_{ms} =$	$N_1 \cdot f_h \cdot f_{No} \cdot f_e \cdot f_a$
$N_{ms} =$	100 Ton

Estimación del Momento Flector máximo:

Aplicando las Ec. (27) al (31) de la tabla 10 se obtuvo:

$M_0 =$	3.15×10^{-4}
$\beta =$	15
$F_{Dp} =$	19.41 ton
$F_{Ds} =$	13.17 ton
$F =$	32.59 ton
$f_h =$	1.44×10^7
$f_{No} =$	1
$f_e =$	0.036
$f_a =$	1.18

El momento flector máximo sobre el elemento más solicitado (Fig. 29) estimado mediante el método simplificado se obtuvo multiplicando los valores obtenidos previamente de acuerdo a la Ec. (26):

$M_{ms} =$	$M_0 \cdot f_h \cdot f_{No} \cdot f_e \cdot f_a$
$M_{ms} =$	97.1 Ton-m

Tabla 11: Resumen de errores relativos en las respuestas elásticas del modelo M-2.

Respuesta	Real	Método simplificado	Error relativo %
Periodo (s)	0.64	0.60	6.25
Desplazamiento lateral máximo (m)	0.0130	0.0114	12.3
Fuerza axial Máxima* (Ton)	96.65	100	3.47
Momento flector máximo* (Ton-m)	84	97.1	15.6

*Respuestas en el elemento más solicitado.

A continuación, se muestra una tabla resumen con los resultados obtenidos luego de analizar las cinco estructuras originales con un análisis dinámico convencional y luego con el método simplificado.

Tabla 8: Resumen de errores del análisis sobre los cinco modelos iniciales.

Respuesta	Modelo	Real	Método simplificado	Error relativo* %
Periodo (s)	M-1	1.63	1.54	5.52
	M-2	0.64	0.60	6.25
	M-3	0.92	0.87	5.43
	M-4	3.80	4.00	5.26
	M-5	2.82	2.92	3.55
Desplazamiento lateral máximo (m)	M-1	0.056	0.059	5.54
	M-2	0.0130	0.0114	12.3
	M-3	0.066	0.067	1.49
	M-4	0.215	0.208	3.07
	M-5	0.271	0.277	2.12
Fuerza axial Máxima* (Ton)	M-1	164.66	153.20	6.96
	M-2	96.65	100	3.47
	M-3	663.54	671.07	1.13
	M-4	561.74	571.07	1.66
	M-5	6919.77	6787.92	1.91
Momento flector máximo* (Ton-m)	M-1	85.20	96.09	12.78
	M-2	84	97.1	15.6
	M-3	1087.39	1020.48	6.15
	M-4	745.15	839.52	12.66
	M-5	3343.60	3118.26	6.74

*Se muestran los resultados principales, no se muestran los máximos errores.

**Respuestas en el elemento más solicitado.

7. CONCLUSIONES

1. El modelo paramétrico representa al armazón como una viga en voladizo con masas concentradas en el extremo, sujeta a cargas puntuales de manera adecuada.
2. La profundidad sumergida de la plataforma y la masa de agua asociada a los elementos sumergidos ejercen influencia sobre el periodo fundamental de vibración de la estructura marina.
3. A partir de las respuestas obtenidas en el análisis de las plataformas se observa que las plataformas marinas son susceptibles a la amplificación dinámica cuando el periodo del oleaje y el periodo de la estructura son similares.
4. Los errores relativos sobre los 2048 casos estudiados son: al estimar el periodo fundamental de vibración alcanzaron un valor máximo de 12.50%; al estimar el desplazamiento lateral máximo alcanzaron un valor máximo de 30.24%; al estimar la fuerza axial máxima alcanzaron un valor máximo de 32.24% y al estimar el momento flector máximo alcanzaron un valor máximo de 29.02%.

5. El método simplificado resulta ser directo en la estimación de las respuestas de interés con una aproximación aceptable de acuerdo a su objetivo principal: el predimensionamiento estructural de plataformas marinas.
6. El método simplificado ofrece buena aproximación en los casos de las estructuras originales ya que los errores relativos máximos son 6.25% para el periodo fundamental de vibración, 12.3% para el desplazamiento lateral máximo, 6.96% para la fuerza axial máxima y 12.78% para el momento flector máximo. Siendo estos valores permisibles en ingeniería.

8. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería por el apoyo brindado en la realización del presente trabajo.

9. REFERENCIAS

1. *American Petroleum Institute (2000)* Recommended practice for planning designing and constructing fixed offshore platforms – Working stress design. API. Washington D.C.
2. Asgarian B., Mohebbnejad A., Soltani R.H. (2004) Simplified method to assess dynamic response of jacket type offshore platforms subjected to wave loading. Proceedings of 23rd offshore mechanics and arctic engineering. American society of mechanical engineers - ASME. New York.
3. *Beltrán, F. y Cerrolaza, M. (1989)* Análisis dinámico de estructuras sometidas a cargas no lineales. Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería, Vol.5. Cataluña.
4. *Chakrabarti, Subrata K. (2005)* Handbook offshore engineering. Elsevier. Illinois.
5. *Claros Q., Ernest (2018)* Análisis paramétrico de plataformas marinas fijas sometidas a oleaje. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
6. *Connor J. (1980)* Response of fixed offshore structure in random sea. Earthquake engineering and structural dynamics, Vol. 8. John Wiley & Sons. New York.
7. *Connor J. y Sunder (1981)* Sensivity analyses for steel jacket offshore platforms. Applied Ocean Research, Vol. 3. Elsevier. Massachusetts.
8. *Fernandez-Dávila V. et al (2000)* Análisis y diseño sísmico de chimeneas industriales. XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Punta del Este.
9. *Gerwick, B.C. (2007)* Construction of Marine and Offshore Structures. CRC Press Taylor y Francis Group. San Francisco.
10. *Harish N., Mandal S., Shanthala B., Subba R. (2010)* Analysis of offshore Jacket Platform. International conference on sustainable water resources management. Surathkal.
11. *Haritos N. (2007)* Introduction to the Analysis and Design of Offshore Structures– An Overview. Electronic Journal of Structural Engineering. Melbourne.

12. ITEA (s.f.) Sistemas estructurales: Plataformas petrolíferas. Instituto técnico de la estructura en acero. Navarra.
13. Kharade A.S. y Kapadiya S.V. (2014) offshore engineering: An overview of types and loadings on structures. International Journal of structural and civil engineering research. Warananagar.
14. Mather, Angus (1995) Offshore Engineering - An Introduction. Whiterby & Company Limited. Londres.
15. Mohan P., Sidhaart A. y Kumar S. (2013) Modeling and analysis of offshore jacket platform. International Journal of Advances in engineering & technology. TamilNadu.
16. Morison J.R. O'Brien M.P., Johnson J.W. y Schaaf S.A. (1950) The force exerted by surface waves on piles. Petroleum transactions. American institute of mining engineers. California.
17. Nasser T., Shabakhty N. y Hadi A.M. (2014) Study of fixed jacket offshore platform in the optimization design process under environmental loads. International Journal of Maritime Technology.
18. Sarpakaya, T. (2010) Wave forces on offshore structures. Cambridge University Press. Cambridge.
19. Sunder S., and Connor J. J. (1981) Sensivity Analyses for Steel Jacket Offshore Platforms. MIT. Cambridge.
20. Wilson, J.F. (2003) Dynamics of Offshore Structures. John Wiley & Sons, Inc. New York.
21. Zeinoddini M., Nikoo H. Matin, Estekanchi H. (2012) Endurance Wave Analysis (EWA) and its application for assessment of offshore structures under extreme waves. Applied Ocean Research. Elsevier. Tehran.

Lista de Variables

A_w = Altura de la ola de diseño o de estudio. (m)
 B = Base mayor. (m)
 b = Base menor. (m)
 D = Diámetro externo del elemento principal. (m)
 D_i = Diámetro de un elemento estructural, principal o secundario. (m)
 D_{ms} = Desplazamiento lateral máximo. (m)
 E = Modulo de elasticidad del acero. (ton – m²)
 e = espesor del elemento principal. (m)
 F = Fuerza total sobre los elementos principales y secundarios. (ton)
 F_{Dp} = Fuerza sobre elementos principales, piernas de apoyo. (ton)
 F_{Ds} = Fuerza sobre elementos secundarios, arriostres. (ton)
 fa = Factor relacionado al tipo de arriostre.
 fe = Factor de transformación de acuerdo al espesor de los elementos.
 fh = Factor relacionado al parámetro h/H.
 f_{No} = Factor relacionado al parámetro de Sitio N_o .
 g = aceleración de la gravedad. (m/s²)
 h/H = Parámetro geométrico que relaciona la profundidad sumergida de estructura (h) y la altura total (H) de la estructura. (m/m)

 k = Factor para la estimación del periodo fundamental de vibración.
 l = Altura de una crujía. (ton/m²)
 M_{ms} = Máximo Momento Flector. (ton – m)
 M_0 = Estimación inicial del momento flector. (ton – m)
 N_{ms} = Máxima fuerza Axial. (ton)
 N_o = Parámetro de sitio. (ton/ft³)
 N_1 = Estimación inicial de la fuerza axial máxima. (ton)
 P = Peso total sobre la cubierta proveniente del peso propio, carga muerta, carga de equipos y carga viva. (kg)
 r = Razón h/H. (m/m)
 T_{ms} = Periodo fundamental de vibración. (s)
 T_0 = Estimación inicial del periodo fundamental de vibración. (s)
 T_w = Periodo de la ola de diseño o de estudio. (s)
 Δ_0 = Estimación inicial del desplazamiento lateral máximo. (m)
 β = Relación entre el periodo de la fuerza y el periodo de la estructura.

ABSTRACT

The marine platforms are steel structures that are in an environment surrounded by seawater that fulfills different functions such as the exploration and exploitation of fossil resources. As is common in structures, marine platforms also have a useful life, which means that their structural integrity must be evaluated every certain period of time. For this reason, it is necessary to know the structural behavior. To satisfy this need, in this work, it is proposed a simplified method that allows obtaining elastic responses of the structure, such as: the fundamental period of vibration, the maximum lateral displacement, the maximum axial force and the bending moment maximum on the most requested element.

To achieve this goal, a set of five marine platforms was selected and the dynamic analysis was carried out to determine the responses of interest on the original structures that we call real responses. Then the fundamental characteristics of the structure were studied such as: the total height, the submerged depth, the diameters of the main and secondary elements, the type of brace, and the fixation to the seabed, and also the characteristics corresponding to the swell were studied such as: the height of the wave, the period of the wave. In this way, it was feasible to analyze this non-conventional type of structures in parametric form by means of a set of cases generated by a combinatorial analysis of the different values of the parameters under study. The parametric structures were also analyzed due to the action of the wave loads obtaining responses that were calibrated or fit with real responses obtained initially.

Each of the responses considered of interest to the structure were plotted taking into account the variation of the parameters adopted. It was analyzed the shape in which the response varies when the chosen parameters varied and the tendency shown by each graph was appreciated. Analytical expressions were proposed that can be used to estimate the responses of interest such as the fundamental period of vibration, the maximum lateral displacement, the maximum axial force and the maximum bending moment.

From this work, qualitative and quantitative conclusions were obtained. The qualitative conclusions were: The considered parameters are valid to represent the structure and the conditions that surround it. The simplified model used is very useful to perform a dynamic analysis and get responses of interest in an agile manner. The extracted quantitative conclusions were: The proposed expressions give a good approximation reaching maximum relative errors of 12% for the estimation of the fundamental period of the structure, 30% for the estimation of the maximum lateral displacement of the structure, 32% for the estimation of the maximum axial force and 29% in the estimation of the maximum bending moment in the most requested element, useful values to obtain initial references of the responses of interest.

Keywords: Fixed marine platform, parametric model, swell, simplified method.