



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

PARÁMETROS DE DISEÑO EN PLATAFORMAS MARINAS DE ACERO POR EFECTO DE FUERZAS HIDRODINÁMICAS Y SÍSMICAS EN EL MAR DEL NORTE PERUANO (TALARA), PARA PROFUNDIDADES MENORES DE 100 M

Línea de investigación:

Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y geotecnia

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería

Autor

Garate Cáceres, Francisco Héctor

Asesor

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

ORCID: 0000-0001-6930-5601

Jurado

Manrique Suarez, Luis Humberto

Paredes Paredes, Pervis

Soto Soto, Luis

Lima - Perú

2024

PARÁMETROS DE DISEÑO EN PLATAFORMAS MARINAS DE ACERO POR EFECTO DE FUERZAS HIDRODINÁMICAS Y SÍSMICAS EN EL MAR DEL NORTE PERUANO (TALARA), PARA PROFUNDIDADES MENORES DE 100 m

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

4%

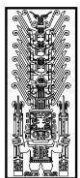
PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	bibing.us.es Fuente de Internet	2%
2	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	pt.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	doczz.es Fuente de Internet	1%
5	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	1%
7	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

PARÁMETROS DE DISEÑO EN PLATAFORMAS MARINAS DE ACERO POR
EFECTO DE FUERZAS HIDRODINÁMICAS Y SÍSMICAS EN EL MAR DEL NORTE
PERUANO (TALARA), PARA PROFUNDIDADES MENORES DE 100 M

Línea de Investigación:

Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y geotecnia

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería

Autor:

Garate Cáceres, Francisco Héctor

Asesor:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

ORCID: 0000-0001-6930-5601

Jurado:

Manrique Suarez, Luis Humberto

Paredes Paredes, Pervis

Soto Soto, Luis

Lima-Perú

2024

ÍNDICE

RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Descripción del problema	2
1.3. Formulación del problema	3
<i>1.3.1 Problema General</i>	3
<i>1.3.2 Problemas Específicos</i>	3
1.4. Antecedentes	4
1.5. Justificación de la investigación	7
1.6. Limitaciones de la Investigación	8
1.7. Objetivos	10
<i>1.7.1 Objetivo general</i>	10
<i>1.7.2 Objetivos Específicos</i>	10
1.8. Hipótesis	10
II. MARCO TEÓRICO	12
<i>2.1. Marco conceptual</i>	12
III. MÉTODO	31
3.1. Tipos de investigación	31
3.2. Población y Muestra	32
3.3. Operacionalización de variables	33

3.4. Instrumentos	35
3.5. Procedimientos	36
3.6. Análisis de datos	37
IV. RESULTADOS	38
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	96
VI. CONCLUSIONES	101
VII. RECOMENDACIONES	102
VIII. REFERENCIAS	103
IX. ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Fórmulas	20
Tabla 2 Fórmulas de Longitud de ola simplificadas para diferentes profundidades	21
Tabla 3 Descripción de configuración estructural de estructuras fijas tipo jacket	30
Tabla 4 Operacionalización de variables	34
Tabla 5 Plataformas estudiadas-parámetros operacionales.....	40
Tabla 6 Tabla de mareas Talara	47
Tabla 7 Relación parámetros adimensionales $VT/H -L/d$	51
Tabla 8 Características de las plataformas marinas	54
Tabla 9 Variación de la presión en las plataformas $T=14$ Ss, $H=4$ m	66
Tabla 10 Variación de casos de carga $CM+CV1+CV2$	67
Tabla 11 Desplazamientos laterales en plataformas, caso 3 de carga.....	74
Tabla 12 Distorsión(deriva) en Plataforma 3 $d=50$ m, caso de carga 1000T	75
Tabla 13 Distorsión(deriva) en plataformas, caso de carga 1000T	77
Tabla 14 Diámetros en elementos principales, caso de carga 3.....	78
Tabla 15 Características Hidrodinámica	84
Tabla 16 Parámetros medioambientales	84
Tabla 17 Periodos naturales de las plataformas.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de elementos de sedimentos del área de influencia	16
Figura 2 Clasificación de plataforma según la profundidad	16
Figura 3 Plataforma CX-11.....	17
Figura 4 Cortes transversales zócalo frente Talara y Tumbes	18
Figura 5 Sistema de Corrientes en el mar	19
Figura 6 Aceleraciones del Sismo de Lima 1974 E-W,N-S de la estación Parque de la Reserva.	24
Figura 7 Espectro de respuesta	25
Figura 8 Configuración estructural plataformas marinas fijas.....	29
Figura 9 Población de estudio lote Z-2B	33
Figura 10 Plataforma marina existente en el mar del norte del Perú. ElPlanta	38
Figura 11 Plataforma marina existente mar del norte del Perú. Asistida por barcaza	39
Figura 12 Plataformas estudiadas-Configuración estructural-Modelos 1al 5.....	41
Figura 13 Valores de periodo de ola para la zona de Talara.....	42
Figura 14 Valores altura de ola para la zona de Talara.....	43
Figura 15 Velocidades, alturas de ola, periodo de ola, índice de potencia de oleaje. Enero 2021	44
Figura 16 Velocidades, alturas de ola, periodo de ola, índice de potencia de oleaje, julio 2019	45
Figura 17 Mareas para la zona en estudio.....	46
Figura 18 Definición de los términos del perfil de ola	48
Figura 19 Relación periodo de ola – longitud de ola, para diferentes profundidades	49
Figura 20 Relación parámetros adimensionales $VT/H-L/d$	50

Figura 21 Efecto Doppler o periodo aparente debido a corriente estable.....	52
Figura 22 Regiones de aplicabilidad de las teorías de olas.....	53
Figura 23 Relación Longitud de ola-periodo de ola para diferentes.....	54
Figura 24 Plataforma 1, profundidad 12m.....	55
Figura 25 Plataforma 1, variables oceanográficas-presiones.....	56
Figura 26 Plataforma 1, variables oceanográficas-velocidad horizontal.....	56
Figura 27 Plataforma 1, variables oceanográficas-velocidad vertical.....	57
Figura 28 Plataforma 2, profundidad 35m.....	57
Figura 29 Plataforma 2, variables oceanográficas-presiones.....	58
Figura 30 Plataforma 2, variables oceanográficas-velocidad horizontal.....	58
Figura 31 Plataforma 2, variables oceanográficas-aceleración horizontal.....	59
Figura 32 Plataforma 3, profundidad 50m.....	59
Figura 33 Plataforma 3, variables oceanográficas-presiones.....	60
Figura 34 Plataforma 3, variables oceanográficas-velocidad horizontal.....	60
Figura 35 Plataforma 3, variables oceanográficas-aceleración horizontal.....	61
Figura 36 Plataforma 3, variables oceanográficas-velocidad vertical.....	61
Figura 37 Plataforma 3, variables oceanográficas-aceleración vertical.....	62
Figura 38 Plataforma 4, profundidad 65m.....	62
Figura 39 Plataforma 4, variables oceanográficas-presiones.....	63
Figura 40 Plataforma 4, variables oceanográficas-aceleración vertical.....	63
Figura 41 Plataforma 5, profundidad 96m.....	64
Figura 42 Plataforma 5, variables oceanográficas-Presiones.....	64
Figura 43 Plataforma 5, variables oceanográficas-aceleración horizontal.....	65
Figura 44 Plataforma 5, variables oceanográficas-aceleración vertical.....	65
Figura 45 Variación de casos de carga CM+CV1+CV2.....	70

Figura 46 Fuerzas hidrodinámicas plataforma d=35m	70
Figura 47 Fuerzas hidrodinámicas plataforma d=50m	71
Figura 48 Fuerzas hidrodinámicas plataforma d=50m	72
Figura 49 Fuerzas hidrodinámicas plataforma d=65 m	72
Figura 50 Fuerzas hidrodinámicas plataforma d=96 m	73
Figura 51 Espectro de sismo de diseño plataforma marina	75
Figura 52 Desplazamiento de entrepiso plataforma d=50m	76
Figura 53 Distorsión de entrepiso plataforma d=50m	76
Figura 54 Límites del parámetro D/t para diferentes profundidades y cargas.....	79
Figura 55 Diseño diámetro elemento principal-diferentes profundidad y carga	79
Figura 56 Parámetro de diseño: Relación D/t en función de profundidad caso carga 1=360T80	
Figura 57 Parámetro de diseño: Relación D/t en función de profundidad caso carga 3=1000T	
.....	80
Figura 58 Parámetro de diseño: Relación D/t en función de profundidad caso carga 4=5000T	
.....	81
Figura 59 Cargas en Plataforma de producción caso CASO 4. (5000 Tn).....	83
Figura 60 Relación periodo de ola -longitud de ola para profundidades menores a 100 metros.	
.....	85
Figura 61 Relación Diámetro principal para diferentes cargas y profundidades.....	86

RESUMEN

Las plataformas marinas se ubican en la costa de Piura y Tumbes, en el zócalo continental, son estructuras de acero que interactúan con el mar, tienen diferentes funciones como exploración y producción de petróleo y gas, estas estructuras están sometidos a fuerzas ambientales y fuerzas accidentales. Por tanto, es necesario conocer su comportamiento estructural para evaluar su integridad estructural, para ello el objetivo fue determinar parámetros de diseño basados en rangos de validez característicos de la zona en estudio, obteniendo un conjunto de soluciones reales. Dentro de los rangos están la profundidad del mar, variación de las características oceanográficas y dimensiones de la estructura. Estos parámetros servirán para el predimensionamiento de futuras estructuras y para evaluación de su integridad estructural si la plataforma es existente. La metodología es cuantitativa basada en métodos determinísticos utilizando parámetros, se evaluaron cinco plataformas, con características propias de la zona en estudio, variando las profundidades, las características oceanográficas y las cargas aplicadas en las cubiertas, considerando fuerzas hidrodinámicas y fuerzas sísmicas. Para el análisis y procedimiento se utilizó el programa SAP 2000. Se determinaron parámetros de diseño tales como la relación diámetro de elemento principal-espesor (D_p/t) para diferentes profundidades y diferentes casos de carga logrando un correcto diseño de las plataformas marinas en el Perú, optimizando tiempos y calidad de los diseños y que estén de acuerdo con las Normas Internacionales. Para estructuras utilizadas en profundidades mayores a 100 metros, y según las características hidrodinámicas estudiadas se recomienda un análisis de vibraciones aleatorias.

Palabras clave: Plataforma marina, plataforma de acero, fuerzas hidrodinámicas, fuerzas sísmicas, mar del norte peruano, Talara.

ABSTRACT

The offshore platforms are located on the coast of Piura and Tumbes, in the continental base, they are steel structures that interact with the sea, have different functions such as exploration and production of oil and gas, these structures are subjected to environmental forces and accidental forces. Therefore, it is necessary to know its structural behavior to assess its structural integrity, for this the objective was to determine design parameters based on validity ranges characteristic of the area under study, obtaining a set of real solutions. Within the ranges are the depth of the sea, variation of the oceanographic characteristics, dimensions of the structure. These parameters will serve for the predimensioning of future structures and for evaluating their structural integrity if the platform is existing. The methodology is quantitative based on deterministic methods using parameters, five platforms were evaluated, with characteristics specific to the area under study, varying the depths, the oceanographic characteristics and the loads applied on the covers. considering hydrodynamic forces and seismic forces. For the analysis and procedure, the SAP 2000 program was used. Design parameters such as the main element diameter-thickness ratio (D_p / t) were determined for different depths and different load cases, achieving a correct design of the offshore platforms in the Perú, optimizing time and quality of designs and that are in accordance with International Standards. For structures used in depths greater than 100 meters, and according to the hydrodynamic characteristics studied, a random vibration analysis is recommended.

Keywords: Marine platform, steel platform, hydrodynamic forces, seismic forces.

Peruvian north sea, Talara

I. INTRODUCCIÓN

Las plataformas marinas se ubican en la costa de Piura y Tumbes, en el zócalo continental, son estructuras de acero que interactúan con el mar, tienen diferentes funciones como exploración y producción de petróleo y gas, estas estructuras están sometidos a fuerzas ambientales y fuerzas accidentales. Por tanto, es necesario conocer su comportamiento estructural para evaluar su integridad estructural.

1.1. Planteamiento del problema

El análisis dinámico de plataformas para extracción de petróleo bajo los efectos de olas o excitaciones sísmicas es complejo, debido a que, al estar las estructuras parcialmente inmersas en el agua, exhiben características dinámicas diferentes de aquellas que están localizadas en el aire.

La complejidad de las variables que se presentan en el caso de las fuerzas hidrodinámicas, tal como altura de ola, longitud, periodo de ola, profundidad de la estructura (profundidades menores a 100 metros), características de los elementos que forman el soporte, hacen necesario incluir el efecto que causa el agua dentro del análisis dinámico, para conocer el comportamiento real de los elementos de la estructura metálica, todo esto se visualiza en la respuesta no lineal planteada en la tesis, que proporcionará parámetros de diseño en las estructuras *offshore* diseñadas en el País, ya que el Perú no tiene una Norma sobre plataformas marinas, por tanto para poder analizar y diseñar este tipo de estructuras se tendrá que recurrir a normas internacionales como el *American Petroleum Institute* (API).

Los parámetros de diseño surgen como necesidad de tener una norma propia para este tipo de estructuras, estos servirán como recomendaciones estructuradas en el que se establecen las diferentes variables e indicadores que permitirán a proyectistas y contratistas un correcto

proceso, optimizando tiempos y calidad de diseños para las características propias del Perú y validadas con Normas internacionales.

1.2. Descripción del problema.

Existen estudios a nivel mundial de plataformas marinas en Estados Unidos, México, mar del norte de Europa, cuyas características oceanográficas difieren con las características del mar del norte del Perú, el diseño estructural de una plataforma marina ha de cumplir ciertas directrices específicas. El reglamento de mayor incidencia a nivel mundial es el API-RP2A. (American Petroleum Institute Recommended Practice 2A), PEMEX (Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios). En el Perú no se cuenta con una norma que evalúe el diseño estructural y construcción de plataformas marinas.

Según Quispe (2016) la historia de la exploración petrolera del Perú se inicia con la perforación del primer pozo en la costa norte del Perú (1863), Yacimiento de Zorritos, la exploración de hidrocarburos viene siendo desarrollada durante 150 años, siendo las áreas productoras 4 regiones, costa norte (1863, Zorritos, Talara) Selva norte (1971, Campo de Corrientes), Selva Central (1939, Aguaytía), Selva Sur (2004, Camisea) y en el zócalo continental (frente a la costa de Tumbes y Piura).

De la producción total de petróleo en el Perú el 11% es extraído del zócalo continental. En la actualidad en el norte del Zócalo Peruano, frente a las costas de Piura y Tumbes empresas como Savia Perú, Gold Oil, BPZ Energy y Karoon Gas vienen desarrollando actividades de exploración.

Hacia la parte Central y Sur del Zócalo Peruano, frente a las costas de La Libertad, Ancash, Lima y Pisco, empresas como Savia Perú y Moche Energy vienen desarrollando actividades de exploración.

Se espera excelentes resultados sobre el Potencial de Hidrocarburos en la parte del Zócalo Peruano.

En atención a esto, se hace necesario resolver el problema del diseño de estructuras de soporte para la exploración y explotación de esos recursos, en el zócalo continental, para el cual se considera la intervención de parámetros operacionales, medioambientales y estructurales.

1.3. Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cuáles son los parámetros de diseño ante las fuerzas hidrodinámicas y sísmicas para mejorar el comportamiento de las plataformas marinas en el mar del norte peruano para profundidades menores de 100 metros?

1.3.2 Problemas específicos

¿Cuáles son las características oceanográficas, que pueden mejorar el comportamiento de las plataformas marinas en el mar del norte peruano para profundidades menores de 100 metros?

¿Cuáles son las características hidrodinámicas que mejorarían el comportamiento de las plataformas marinas en el mar del norte peruano para profundidades menores de 100 metros?

¿Cuál de las fuerzas actuantes hidrodinámicas y sísmicas son determinantes en el diseño de plataformas Marinas para profundidades menores a 100 metros?

1.4. Antecedentes

Existen estudios para plataformas marinas en otros países, más para el Perú son pocos los estudios realizados sobre optimización del diseño estructural en plataformas marinas, considerando las características del mar peruano: altura y longitud de ola, periodo y frecuencia.

Según Bolaños (2017) entre los años 1959, 1960 y 1961 se inició la exploración y explotación del zócalo continental en el Noroeste Peruano, mediante un barco perforador llamado el “Rincón”. Es a partir del año 1965 que se implantan plataformas fijas para extracción de petróleo, dichas plataformas están en Talara. En la actualidad la encargada de la explotación de la explotación de petróleo en el mar es la empresa SAVIA Perú que tiene a cargo el lote Z-2B, ubicado en el Noroeste del País.

Asimismo, se tienen en operación alrededor de 85 plataformas que soportan en un 90% la infraestructura productiva de los campos con profundidades de agua en un amplio rango, de hasta 120 m. Un 15% adicional está constituido por pozos localizados en la faja costera y que fueron perforados de forma desviada para alcanzar el yacimiento productor.

El océano ocupa el 80% de la superficie de la tierra, de quien se obtienen recursos de una creciente demanda. Esta vasta área de nuestro globo está empezando a ser explotada en múltiples formas además de la pesca y navegación. Aproximadamente el 22 % del petróleo y gas provienen de reservorios bajo el mar y su incremento es constante.

Entre las investigaciones revisadas mencionaremos las siguientes.

1.4.1 Internacionales.

Caballero (2014) concluyó que las plataformas marinas son estructuras que se encuentran sometidas principalmente a la acción cotidiana de elementos del entorno medioambiental como el oleaje, las corrientes marinas y el viento, los cuales generan un ciclo muy grande de ciclos de esfuerzos de carga y descarga que se pueden traducir en daños estructurales por fatiga debido a la concentración de esfuerzos en las diferentes juntas,

resaltando la importancia de la selección de la geometría de la subestructura, el tipo de apoyo, así como de la relación diámetro del tubo (D) y espesor del tubo (t) y el ángulo de los elementos en que inciden los perfiles tubulares en la junta. Así mismo que la función principal de la subestructura consiste en proporcionar arriostramientos laterales a los pilotes en la longitud que hay entre la superestructura y el suelo, lo cual reduce su longitud efectiva incrementando su capacidad de carga.

Meléndez (2017) estableció recomendaciones básicas para el cálculo estructural *offshore* en Venezuela, siguiendo los procedimientos establecidos por la Norma de calidad ISO 9001. Para lograr este objetivo determinó y siguió las directrices contenidas en las Normas y prácticas de diseños internacionales, las cuales sirvieron de fundamento técnico para establecer los parámetros, criterios y procedimientos de diseño para este tipo de estructuras. Como resultado de la investigación, logró diseñar un procedimiento estandarizado que integra y consolida todas las etapas y procesos que permiten garantizar la disponibilidad y precisión de la información relacionada con la definición de las condiciones para el cálculo de este tipo de estructuras, que, en juicio de los especialistas, es el factor más importante del proceso, el cual permite un ahorro significativo en costos y tiempo para la organización que lo adopte.

Rodríguez y Rueda (2009) realizaron el modelamiento de una plataforma marina fija de producción, en la Ronda Caribe, para su diseño, construcción e instalación, los objetivos de este estudio fueron identificar las variables y requerimiento para el diseño de la misma, basados en las Normas API, establecer una metodología considerando condiciones ambientales.

Los resultados que obtuvieron son, que los parámetros que más influyen en el diseño de una plataforma son los parámetros medioambientales, las mayores distorsiones se presentan en la parte superior de la plataforma, los periodos se mantienen en el rango de 1 a 10 segundos.

Este estudio nos permite conocer el desarrollo del diseño utilizando parámetros de diseño que permite un proceso sistematizado para el diseño de plataformas marinas.

1.4.2 Nacionales.

Claros (2018) realizó un estudio del comportamiento dinámico de plataformas fijas y sus respuestas dinámicas cuando se encuentran sometidas a cargas de oleajes. Este estudio se realizó mediante modelos bidimensionales sujetos a una carga no lineal como lo es el oleaje marino.

Torres (2011) en el trabajo “Aplicación del método de fracturamiento slickwater en offshore” muestra que se puede aumentar la reserva de hidrocarburos y ahorro en el costo utilizando el método de fracturamiento slickwater.

Los resultados confirman la ventaja de utilizar este método para aumentar las reservas, durante el primer año de producción se recuperó un 50 % más de petróleo y la reducción de costos en comparación de otros métodos tradicionales como el fracturamiento convencional *crosslinkado*. Este trabajo permite conocer las características de las plataformas marinas en el mar del norte del Perú.

Macavilca (2014) analizó pilotes para soportar cargas laterales que se utilizan en estructuras que fueron sometidas a cargas horizontales importantes como cargas de viento, ondas marinas (estructuras costeras y marinas) y fuerzas sísmicas. Entre las estructuras típicas se tienen las estructuras petroleras marinas. Utilizó el método p-y, que es el método más utilizado en la actualidad y recomendado por los manuales de diseño internacional como: American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO), Canadian Foudation Engineering Manual (CFEM), American Petroleum Institute (API), para el diseño de pilotes sometidos a cargas laterales. Los resultados indican que, en el caso de pilotes hincados, el pilote debe ser de un material más resistentes como concreto armado o acero.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación

El desarrollo de exploración y explotación de nuevos recursos petroleros en la costa del Perú requiere de empresas y profesionales especializados en el tema, lo que en la actualidad no se refleja. El aporte de la Ingeniería en el proceso de análisis y diseño de la estructura submarina es de mucha importancia, primeramente, define y evalúa las condiciones de diseño específicas, críticas y adversas que caracteriza a las estructuras *offshore*, por lo tanto, desarrolla conocimientos de diseño estructural, hidrología marítima, mecánica de fluidos y geología, por tanto, asegurando el buen comportamiento de la plataforma en tiempo de operación que realizará. De igual forma las empresas de diseño no han desarrollado el nivel de conocimiento y experiencia requerido en este tipo de estructuras ni con la documentación técnica y normativa requerida, por ello, que han sido diseñadas por transnacionales internacionales de ingeniería prueba de ello es que no se cuenta con una norma sobre el análisis, diseño y proceso constructivo de este tipo de estructuras.

Esta investigación beneficiaria a empresas y profesionales, investigadores, porque les proporcionará parámetros de predimensionamiento y análisis de plataformas marinas, con características propias del mar del norte peruano, para profundidades menores de 100 m.

1.5.2 Importancia

Es importante esta investigación porque proporciona un aporte a nivel de diseño de estructuras marinas de acero ya que en las normas nacionales no son consideradas estas estructuras, sirve para proporcionar diseños que den mayor durabilidad a la estructura y reducción de costos porque se optimiza el diseño de los elementos estructuras con la reducción del material de acero, y servirá como guía para el análisis y diseño de plataformas Costa fuera en el Perú.

1.6. Limitaciones de la investigación

1.6.1 Delimitación espacial

El estudio está limitado a la zona de costa fuera del departamento de Piura y Tumbes donde se desarrolla la perforación y explotación de petróleo.

Se limita al tipo de estructuras fijas tipo jacket, que se adecuan para las profundidades menores a 100 m.

1.6.2 Delimitación temporal

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo entre marzo 2023 y marzo 2024

1.6.3 Delimitación social

Los principales entes sociales involucrados fueron:

- El Ministerio de Vivienda y Construcción.
- El Ministerio de Energía y Minas.
- El Ministerio de Economía y Finanzas.
- El Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo.
- Ministerio del Ambiente.
- Contraloría General de la República.
- Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado.
- Gobierno Regional de Piura y Tumbes.
- El Instituto Geofísico del Perú.
- El Instituto Nacional de Defensa Civil.
- Universidades públicas y privadas.
- Empresas consultoras.
- Empresas constructoras.
- Investigadores científicos.

- Ingenieros civiles.
- Ingenieros de Petróleo.
- Ingenieros Industriales.
- Estudiantes.

1.6.4 Delimitación temática.

Se analizó el comportamiento dinámico de un modelo tridimensional simplificado de una estructura costa fuera real. Sobre él actúan las mismas cargas que se esperan sobre una plataforma real, fuerzas hidrodinámicas y sísmicas, se consideraron los parámetros que caracterizan el estado del mar del norte del país (altura de ola, amplitud de ola de diseño y periodo de ola de diseño) y espectro de diseño según lo especifica la Norma E 030 (Reglamento nacional de Edificaciones). Se evaluó la respuesta no lineal para cinco diferentes torres. El material empleado fue acero.

En este estudio no se desarrolló, el proceso constructivo ni instalación, además, no se consideró el estudio de la fijación al lecho marino mediante pilotes de acero.

1.6.5 Delimitación científica

El estudio se limitó a plataformas petroleras de explotación de estructuras fijas tipo jacket, considerando que este tipo de plataforma son las adecuadas para las profundidades que se registran en la zona de Talara.

A nivel de Normas internacionales se utilizaron las siguientes normas:

Se tomó como referencia las Normas Internacionales para estructuras offshore como son: American Petroleum Institute (API-RP 2A WSD).

La Norma ISO 9001 “Quality management systems” de normalización es reconocida a nivel mundial y acogida por las empresas para certificar sus sistemas de gestión de calidad y

que, como parte de sus requisitos, establece la necesidad de estandarizar los procedimientos de las empresas de diseño o servicio mediante un manual de procedimientos (Meléndez, 2017).

1.7. Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Determinar los parámetros de diseño ante las fuerzas hidrodinámicas y sísmicas para mejorar el comportamiento estructural de plataformas marinas en el litoral del Norte Peruano para profundidades menores de 100 m.

1.7.2 Objetivos específicos

Determinar las características oceanográficas que pueden mejorar el comportamiento estructural de las plataformas marinas, en el mar del norte peruano para profundidades menores a 100 m.

Determinar las características hidrodinámicas que mejorarían el comportamiento estructural de las plataformas marinas en mar del norte peruano para profundidades menores a 100 m.

Determinar la respuesta de la plataforma marina en el mar del norte peruano verificando la incidencia de las fuerzas hidrodinámicas y sísmicas en el comportamiento para profundidades menores a 100 m.

1.8. Hipótesis

1.8.1 Hipótesis principal

Conociendo los parámetros de diseño ante la fuerza hidrodinámica y sísmica se mejoraría el comportamiento estructural de las plataformas marinas para profundidades menores a 100 metros.

1.8.2 Hipótesis secundarias

Conociendo las características oceanográficas se mejoraría el comportamiento estructural de las plataformas marinas para profundidades menores a 100 metros.

Conociendo las características hidrodinámicas mejoraría el comportamiento estructural de las plataformas marinas para profundidades menores a 100 metros.

Conociendo la respuesta de las plataformas marinas se determinaría que la fuerza sísmica es la que predomina en el diseño para profundidades menores a 100 m.

II. MARCO TEÓRICO

2. 1. Marco conceptual.

Corrientes Marinas: Las corrientes marinas son masas de agua con desplazamientos propios dentro de los océanos con diversas profundidades y con determinadas direcciones. Su presencia se debe a diferencias de temperatura y de salinidad entre masas de agua, a la rotación terrestre y a los vientos. (Dirección de Hidrografía y Navegación, 2013)

Crecimiento marino: Son incrustaciones de vida marina que se forman a lo largo del tiempo sobre los elementos de las estructuras sumergidas de las plataformas costa fuera. (BPZ Exploración y producción SRL, 2011).

Cresta de ola: Es la parte más alta de la ola. (DHN, 2013)

Ductilidad: Es la propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas, de deformarse plásticamente de manera sostenible sin romperse. (McCormac y Csernak, 2012)

Efecto Doppler: Consiste en una variación de frecuencia y la longitud de onda recibidas respecto a la frecuencia y la longitud de ondas emitidas, que es causada por el movimiento relativo entre el foco emisor de ondas y el receptor. En el contexto de las condiciones marítimas, se refiere al efecto que tiene una corriente marina sobre la frecuencia y longitud de olas, dependiendo si ambas tienen la misma dirección o direcciones opuestas.

Flotabilidad: Es el empuje hidrostático ascendente a que está sometido un cuerpo sumergido en un líquido de mayor densidad. (Mott, 2006)

Fuerzas hidrostáticas: Presión que ejerce un fluido sobre una superficie.

Lecho marino: Es una superficie de tierra que se encuentra bajo el agua de océanos y mares que rodean las costas. (DHN, 2013)

Longitud de onda: La longitud de onda es la distancia medida entre dos crestas consecutivas en una onda. (DHN, 2013)

Mareas: García y Wincler (2009) afirman que las mareas corresponden al ascenso y el descenso periódico del nivel del océano, incluyendo golfos y bahías producto de la atracción gravitatoria de la luna y el sol (Marea astronómica). La Luna domina la principal componente de la marea que es manifiesta en un periodo de 12,42 horas y corresponde una onda larga que se propaga en aguas profundas.

Mejores prácticas: Es un término utilizado en la industria recientemente para identificar las metodologías, sistemas, herramientas y técnicas aplicadas y probadas con resultados sobresalientes en empresas que han sido reconocidas como de clase mundial.

Metaoceánica: Es un término utilizado en el contexto marino como una aplicación de la investigación de la interacción de las condiciones climatológicas o meteorológicas con el océano o el mar. (DHN, 2013)

Offshore: Término en inglés utilizado en la industria petrolera a nivel mundial para referirse a desarrollos marítimos costa fuera. (Chacrabarti, 2005).

Olas: García y Wincler (2009) indican que las olas son manifestaciones de propagación de energía mecánica en la interface entre la atmósfera y la superficie del mar. Estas son manifestaciones de fuerza actuando sobre el fluido tratando de deformarlo en contra de la acción de la gravedad y de la tensión superficial.

Periodo de retorno: En el área de ingeniería, el periodo de retorno es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos de baja probabilidad. Por ejemplo, en ingeniería sísmica es el tiempo entre dos terremotos de magnitud mayor que un cierto valor. También es llamado periodo de recurrencia, y es un concepto estadístico que intenta proporcionar una idea de hasta qué punto un suceso puede considerarse raro.

Tácticas Recomendadas: Son publicaciones de comités o asociaciones de especialistas en un tema que contiene los principios de diseño de ingeniería y buenas prácticas de ingeniería que se han desarrollado con éxito de proyectos previos, lo que garantiza que en ningún caso se incluye ninguna recomendación que no podrían lograrse por técnicas y equipos disponibles actualmente.

Riser: es un término en inglés utilizado mundialmente en la industria petrolera para identificar la tubería o arreglo de tuberías que sirven para transportar los hidrocarburos desde el lecho marino hasta las facilidades de superficies en la plataforma petrolera.

Sistemas georreferenciales: Son sistemas que utilizan la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema y datos específicos.

Subsidencia: El término de subsidencia hace referencia al hundimiento paulatino de la corteza terrestre, continental o submarina.

Topside: Es la parte de una plataforma petrolera costa fuera que proporciona la superficie y facilidades para el desarrollo de las operaciones de perforación, producción y/o procesamiento de hidrocarburos.

Zona de salpicadura: Es la zona de la subestructura de una plataforma cota fuera sometida a los efectos cambiantes de las olas y las mareas.

Teoría de olas: Son los diferentes modelos teóricos deterministas que se han desarrollado para idealizar el comportamiento irregular de las olas como un comportamiento regular y poder facilitar el estudio.

Fuerza Hidrodinámica: Está definida por la llamada ecuación de Morison, es esencialmente una fórmula empírica basada en la teoría lineal de olas y confirmada por experimentos. (API – American Petroleum Institut, 2007)

La ecuación de Morison: es una combinación del Teorema de transporte de Reynolds definida por la suma de dos componentes de fuerza, una inercial en fase con la aceleración del fluido y una fuerza de arrastre. (API, 2007)

La respuesta de la estructura: Consiste en determinar los desplazamientos laterales que se presentan debido a las fuerzas hidrodinámicas.

Acción sísmica: Es el movimiento sísmico del suelo que se transmite a las estructuras que se apoyan sobre éste.

Comportamiento sísmico: Es el análisis de una estructura que tiene como objetivo encontrar los esfuerzos en los elementos estructurales y la respuesta sísmica, generados por acciones sísmicas.

Dinámica estructural: Es el análisis de estructuras bajo cargas dinámicas, es decir cargas que varían en el tiempo.

Plataforma marina: Son estructuras apoyadas en el fondo marino, a excepción de las construidas en concreto, son perfiles tubulares de acero soldados que actúan como un entramado que soporta el peso de la estructura total y las fuerzas debidas a las olas, la corriente marina y el viento. (Arteaga y Herrera, 2014)

Sismos: Los sismos, terremotos o temblores de tierra, son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por distintos fenómenos, como la actividad volcánica, la caída de techos de cavernas subterráneas, actividad tectónica y hasta por explosiones.

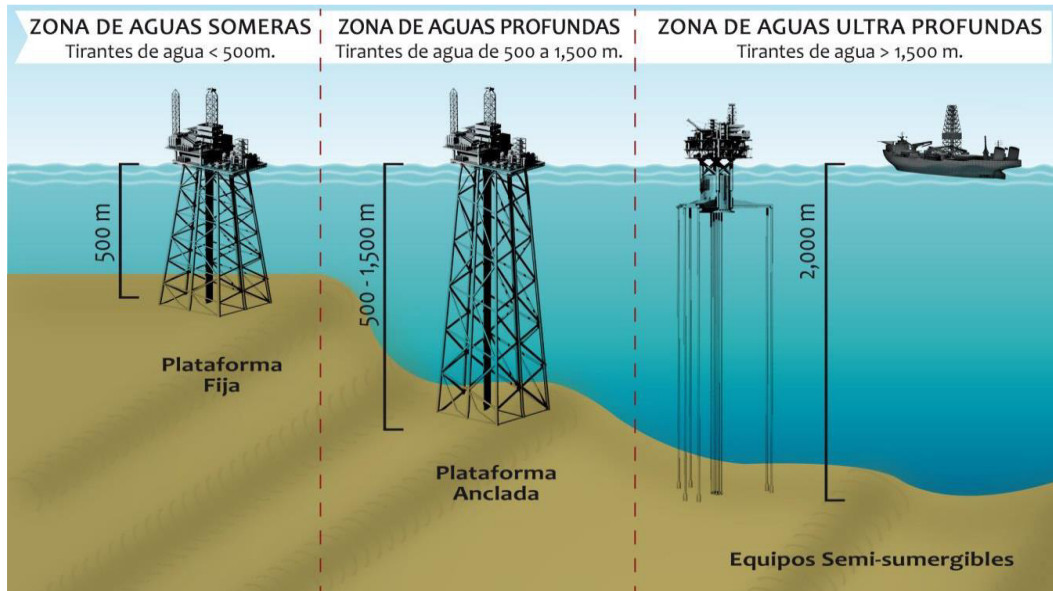
2.2. Bases teóricas.

2.2.1 Plataformas Marinas en el mar del norte del Perú

Según Quispe (2016) las actividades de perforación de pozos exploratorios en mar abierto se clasifican según la profundidad, se dice aguas someras a aquellas cuya profundidad es menor a 500 metros, aguas profundas entre 500 y 1500 metros y aguas ultra profundas a profundidades mayores a 2000 metros, tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Distribución de elementos de sedimentos del área de influencia

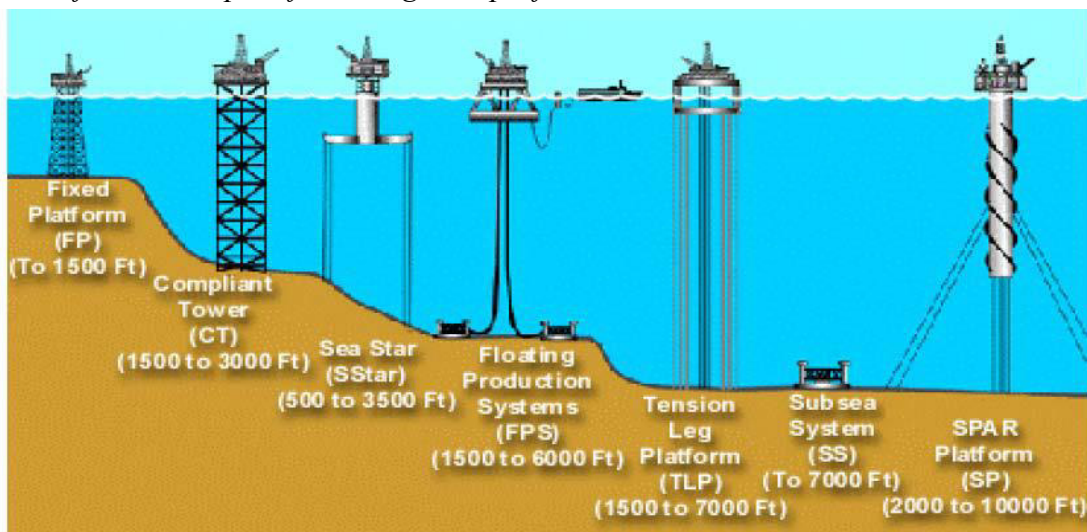


Fuente: Quispe

Según Chacrabarti (2005) “las estructuras offshore se clasifican en dos grupos: estructuras fijas, apoyadas en el fondo marino y las estructuras offshore flotantes”. En la Figura 2, se muestra la clasificación de las plataformas según su profundidad, se observa que las estructuras fijas van hasta 1500 pies (457,2 metros).

Figura 2

Clasificación de plataforma según la profundidad



Fuente: Hirschfeldt y Iglesias. 1 ft= 1pie = 30, 48 cm

Las plataformas marinas se distribuyen en la costa de Piura y Tumbes, en el zócalo continental perteneciente a la empresa SAVIA, principal productora en esa zona con 81 plataformas en el lote Z-2B frente al departamento de Piura que alcanzan profundidades hasta de 120 metros.

Plataformas marinas menos numerosas, pero más modernas se encuentran en el lote Z-1, pertenecen a la empresa BPZ Energy, plataformas como Corvina CX-11, Albacora y la Corvina CX-15 que es la más moderna y se encuentra ubicada a 17 km del distrito de La Cruz, departamento de Tumbes, la profundidad del mar está en el orden de 53,4 m.

La plataforma de producción CX-11 está ubicada en el lote Z-1 (Corvina), al noroeste del Perú, fue instalada en 1982 y tiene una profundidad de 59 metros (Mendoza, 2017). En la Figura 3 se muestra dicha plataforma existente en el mar del norte del Perú, donde se observa la superestructura (plataforma superior, intermedia e inferior).

Figura 3

Plataforma CX-11



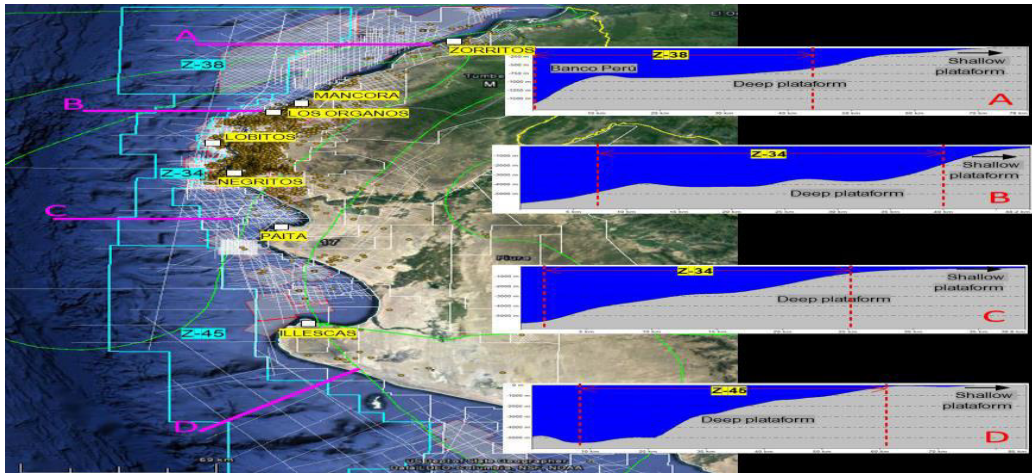
Fuente Mendoza

Según Quispe (2016) la exploración y explotación del norte del Perú en el zócalo continental en el norte del Perú varía su profundidad, en la Figura 4 se muestran cortes

batimétricos de Oeste-Este, en el corte B-B dentro del lote Z-34, muestra la morfología y profundidad del mar. La zona de estudio del presente estudio es en el lote Z-2B que está localizado en el corte C-C, en aguas someras. (a la derecha del lote Z-34).

Figura 4

Cortes transversales del zócalo frente a Talara y Tumbes



Fuente: Quispe

2.2.2 Características Oceanográficas.

Las características oceanográficas corresponden a la coloración del mar (verde esmeralda), salinidad, temperatura, afloramientos costeros, estas características contribuyen a que se tenga una de las áreas de mayor productividad biológica, reflejándose en las cadenas y redes tróficas del ecosistema marino. El mar peruano es excepcionalmente rico en fauna ictiológica.

Según DHN (2019) en la zona de estudio, la temperatura superficial es relativamente alta, y la salinidad relativamente baja.

2.2.2.1 Corrientes marinas

En el sistema de corrientes del Perú se presenta una corriente conocida como corriente costera del Perú, con un ancho que varía aproximadamente entre 100 y 200 millas, su desplazamiento con tendencia al norte registra velocidades que van de 0,2 nudos a 0,3 nudos, como se muestra en la Figura 5.

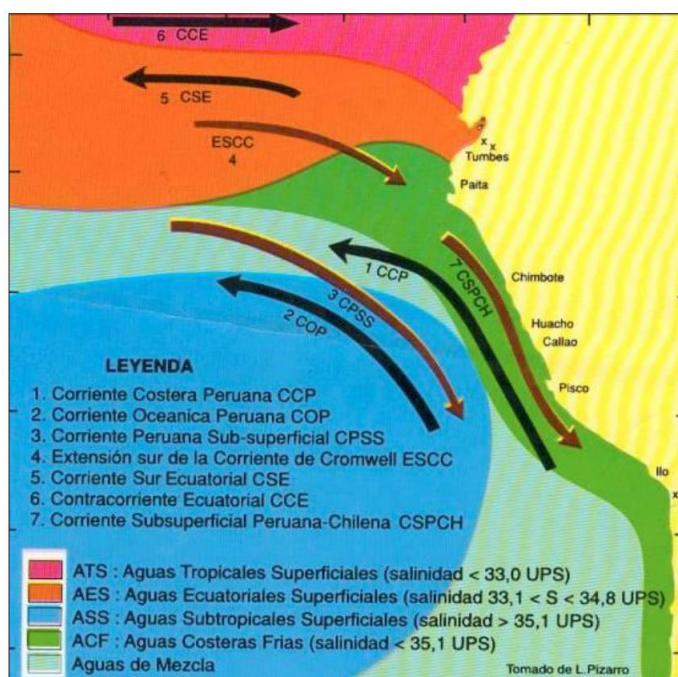
La corriente marina más alejada de la costa, dentro del sistema de corrientes del Perú es conocida como corriente oceánica del Perú, su límite extremo aproximado es de 500 a 600 millas de la costa, presentando velocidades entre 0,3 a 0,5 nudos (0,154 a 0,257 m/s con tendencia al Noroeste, con una corriente al oeste.

Estas dos corrientes están generalmente separadas por un flujo débil e irregular hacia el sur llamada la contracorriente del Perú, es una corriente subsuperficial y solo llega a la superficie ocasionalmente. De julio a octubre, no se observa la contracorriente en la superficie del mar, de noviembre a febrero es cuando está más marcada y está situada a unos 500 kilómetros mar afuera y de marzo a junio el flujo hacia el sur es observado ocasionalmente.

Ocasionalmente se presenta un desplazamiento de aguas cálidas conocido como Fenómeno El Niño, avanzando a lo largo de las costas entre el sur del Ecuador y el norte del Perú durante el verano, se ha observado velocidades de hasta dos nudos (1,028 m/s) entre el sur del Ecuador y el Callao.

Figura 5

Sistema de Corrientes en el mar peruano



Fuente: BPZ Exploración y Producción S.R.L.

2.2.3 Fuerzas medioambientales.

Además de las fuerzas gravitacionales actuando en la superestructura, (considera carga muerta, carga viva, carga de equipo y tuberías), se tienen las cargas medioambientales, dependen de las condiciones meteorológicas y oceanográficas.

Se consideran las fuerzas hidrodinámicas, carga de corrientes marinas, carga de viento, fuerzas hidrostáticas y fuerzas de sismo.

2.2.3.1 Fuerza hidrodinámica.

La ecuación que define la fuerza hidrodinámica, llamada ecuación de Morison, es esencialmente una fórmula empírica basada en la teoría de olas y confirmada por experimentos.

La Teoría lineal de olas, está basada en la teoría lineal de olas cortas que tiene como ecuaciones fundamentales, la ecuación de continuidad de Laplace y la ecuación de movimiento de Euler.

Chackrabarti (2005) presenta las fórmulas para la teoría lineal de olas para diferentes profundidades tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Fórmulas para la Teoría Lineal de olas

Cantidad	Profundidad finita	Aguas profundas
Relación de dispersión	$w^2 = gk \tanh kd$	$w^2 = gk$
Perfil de ola	$\eta = \frac{H}{2} \cos[k(x - ct)]$	$\eta = \frac{H}{2} \cos[k(x - ct)]$
Velocidad horizontal	$u = \frac{gkH \cosh k(y + d)}{2w \cosh kd} \cos[k(x - ct)]$	$u = \frac{gkH}{2w} \exp(ky) \cos[k(x - ct)]$
Velocidad vertical	$v = \frac{gkH \sinh k(y + d)}{2w \cosh kd} \sin[k(x - ct)]$	$v = \frac{gkH}{2w} \exp(kx) \cos[k(x - ct)]$

Cantidad	Profundidad finita	Aguas profundas
Aceleración Horizontal	$\dot{u} = \frac{gkH \cosh k(y+d)}{2 \cosh kd} \sin[k(x-ct)]$	$\dot{u} = \frac{gkH}{2} \exp(ky) \cos[k(x-ct)]$
Aceleración vertical	$\dot{v} = -\frac{gkH \sinh k(y+d)}{2 \cosh kd} \cos[k(x-ct)]$	$\dot{v} = \frac{gkH}{2} \exp(ky) [k(x-ct)]$
Presión dinámica	$p = pg \frac{H \cosh k(y+d)}{2 \cosh kd} \cos[k(x-ct)]$	$p = pg \frac{H}{2} \exp(ky) \cos[k(x-ct)]$

Fuente: Chacrabarti .

Chacrabarti (2005) presenta las fórmulas para longitud de ola para diferentes profundidades como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Fórmulas de Longitud de ola simplificadas para diferentes profundidades

Profundidad de agua	Rango	Tangh(kd)	Longitud de ola
Aguas Superficiales	$d/L \geq 1/2$	1	$L_o = \frac{gT^2}{2\pi}$
Aguas intermedias	$d/L \leq 1/20$	kd	$L = T\sqrt{gd}$
Aguas profundas	$1/20 < d/L < 1/2$		$L = 2L_o [\text{Tanh}(2\pi d/L_o)]^{1/2}$

Fuente: Chacrabarti

La ecuación propuesta por Morison, ecuación 1, es una suma de fuerzas hidrodinámicas de inercia y de arrastre. La fuerza de arrastre es una función de la velocidad, este término es no lineal, mientras que la fuerza de inercia es función de la aceleración.

$$f = \rho \cdot CM \cdot \pi \cdot D^2 / 4 \cdot \ddot{u} + 1/2 \rho \cdot CD \cdot |u| \cdot u \quad (1)$$

Donde:

f = fuerza hidrodinámica normal al cilindro.

D = Diámetro exterior del elemento.

CD = Coeficiente de arrastre.

CM = Coeficiente de inercia.

ρ = Densidad del agua.

u = Velocidad de la partícula de agua.

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

Según API (2007) los coeficientes tienen los siguientes valores:

$CD=0.65$ (liso); $CD=1.05$ (rugoso)

$CM=1.60$ (liso); $CD=1.20$ (rugoso)

La ecuación de Morison presenta restricciones cuando el diámetro del cilindro (D) es mayor a la longitud de onda (L) de la ola. Relación de $D/L < 0.2$, para la validez de la ecuación de Morison. La acción de las fuerzas hidrodinámica sobre cuerpos sumergidos en un fluido es un problema clásico en dinámica de fluidos. Herbich y Sahank (1971) discuten el problema de fuerzas de olas sobre un cilindro vertical rígido, desde el punto de vista de la Ingeniería de diseño.

La fuerza hidrodinámica que actúa sobre un cilindro está compuesta de una fuerza de arrastre (dragado), proporcional al cuadrado de la velocidad relativa, y una fuerza de inercia, proporcional a la componente relativa horizontal de la aceleración entre partícula de agua y cilindro. En la formula se incluyen dos coeficientes llamados coeficientes de masa y arrastre, ha sido presentada por Rains y Subrata (1972), proporcionan una descripción genérica de cómo calcular cargas en una estructura costa fuera, y como responde a estas cargas, utilizaron un modelo a escala de una estructura tubular. La fuerza de ola fue simulada por un dispositivo mecánico (en agua sin movimiento); así el número de variables para calcular los coeficientes de arrastre y de masa, asociados con la estructura fue reducido mediante técnicas de reducción

de datos. Bea y Lai (1978) obtuvieron valores para coeficientes de masa y arrastre basados en diferentes teorías de olas. La interacción del fluido producida entre cilindros ha sido investigada por Sring y Monkmeyer (1975) que consideraron la interacción del plano incidente de las olas con los cilindros verticales. Yamamoto y Nath (1976) calcularon las fuerzas hidrodinámicas sobre un grupo de cilindros, debido al flujo uniforme de olas grandes. Isaccson y Sanjay (1986) estudiaron el efecto de interferencia entre cilindros largos en una ola, por la teoría de difracción y en forma experimental.

Debido a que la fuerza de arrastre es no lineal y esta acoplada con la respuesta de la estructura, el análisis dinámico de sistemas de varios grados de libertad es complejo particularmente cuando las condiciones de corriente marina están representadas por procesos aleatorios. Dao y Penzien (1980) han estudiado la influencia de la fuerza de dragado utilizando dos métodos: el primero desacopla la respuesta estructural de las fuerzas de arrastre manteniendo sus características no lineales y el segundo es el método standard de linearización.

2.2.3.2 Fuerza sísmica

En el Perú no se cuenta con una norma sísmica para estructuras inmersas en el mar, por ello se utiliza normas extranjeras como ITEA (2013), API, PEMEX,

Según el Instituto Técnico de la Estructura de Acero-ITEA (2013) en áreas de actividad sísmica baja, el diseño de plataformas sería controlado por el efecto de las fuerzas hidrodinámicas. Para zonas donde la aceleración del terreno es menor que 0.05 g, un análisis sísmico no es necesario. Para áreas donde la aceleración horizontal del terreno está en el intervalo de 0.05 g a 0.1g, todos los requerimientos sísmicos de resistencia de la sección 2.3.6c (API, 2007)

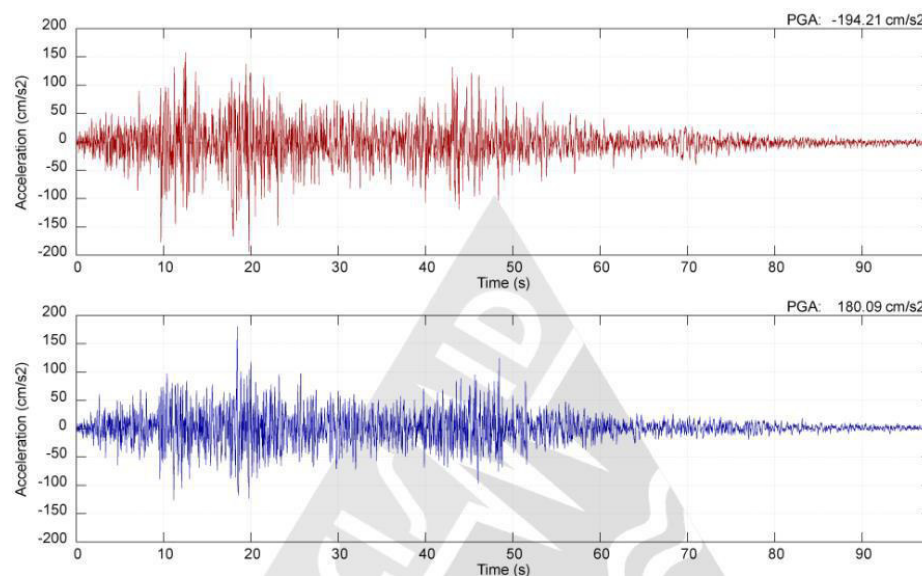
Según el Instituto Técnico de la Estructura de Acero-ITEA (2013) normalmente, las plataformas petrolíferas en regiones de actividad sísmica se proyectan para dos niveles de intensidad sísmica:

- El sismo de nivel de resistencia y
- El sismo de nivel de ductilidad.

En el caso del diseño para el nivel de resistencia, es posible especificar la carga sísmica bien mediante series de acelerogramas Figura 6 o mediante los espectros de respuesta Figura 7.

Figura 6

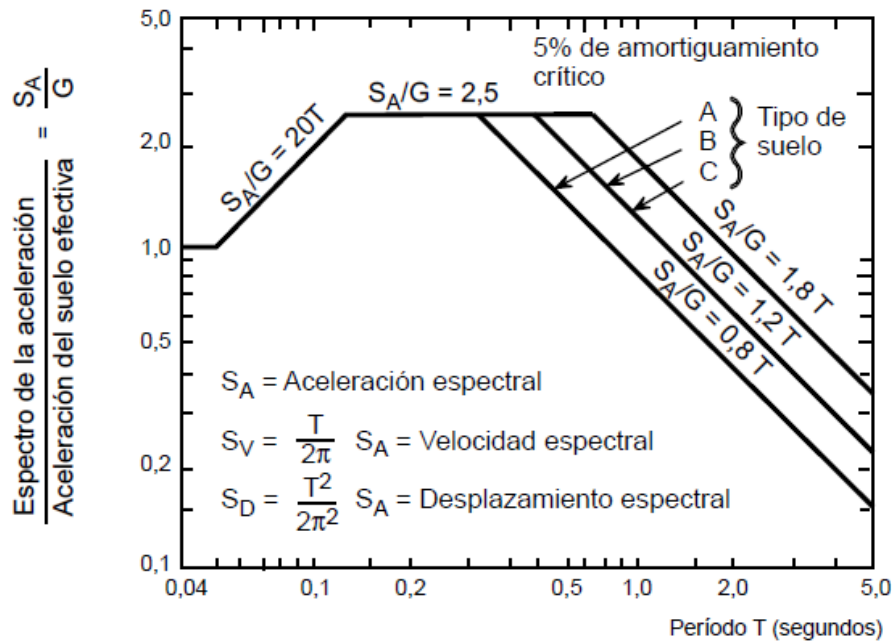
Aceleraciones del Sismo de Lima 1974 E-W,N-S de la estación Parque de la Reserva



Fuente: CISMID/FIC/UNI, Red Acelerografica del CISMID-REDACIS-,
<http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>

Figura 7

Espectro de respuesta



Fuente: API

El propósito de los requerimientos de ductilidad es asegurar que las estructuras ubicadas en zonas sísmicamente activas tengan una reserva de capacidad para prevenir el colapso ante un sismo.

2.2.5 Respuesta de la Estructura

La respuesta de la estructura consiste en determinar los desplazamientos laterales que se presentan debido a las fuerzas hidrodinámicas, debido a que la fuerza de arrastre es no lineal y esta acoplada con la respuesta de la estructura, el análisis dinámico de sistemas de varios grados de libertad es complejo particularmente cuando las condiciones de corriente marina están representadas por procesos aleatorios.

La respuesta dinámica de una plataforma marina considerando la ocurrencia de resonancia, fue estudiada por Selna y Cho (1972) en base a un método determinístico. Penzien et al. (1972) presentan un método estocástico de análisis de plataformas marina sujeta a

movimientos sísmicos, incluyendo los efectos de interacción fluido estructura, mediante un estudio comparativo entre 4 torres de diferentes características; el método obtenido es aplicable para el diseño sísmico de dichas estructuras a profundidades mayores de 305 m. La teoría de difracción es otra aproximación para hallar las fuerzas hidrodinámicas causadas por difracción de olas, Garrison y Chow (1972) desarrollaron un análisis para la interacción ola estructura, basado en la teoría de difracción lineal y mostraron que, para pequeños valores de la relación altura ola-diámetro de cilindro, los coeficientes de fuerza por oleaje pueden ser representados por la teoría de difracción y relacionados como funciones de dos parámetros ($\pi D/L$) y ($2H/D$) en donde H denota la altura de ola, D el diámetro y L es la longitud de ola.

Dada la importancia de este tipo de estructuras se justifica el realizar, la respuesta no lineal en plataformas marinas, considerando la fuerza hidrodinámica, que no es otra cosa que un modelo matemático que tiene en cuenta todas las variables y parámetros y normas de diseño, para lograr un diseño adecuado a las características del mar peruano dadas por la teoría de olas.

Zienkiewicz et al. (1965) tratan la teoría de difracción con el método de elementos finitos. Presentan la solución numérica de difracción y radiación de superficie de olas usando una combinación de elementos finitos en la cercanía del campo y elementos finitos en el campo alejado; la función de forma usada en los elementos finitos tiene un término exponencial decreciente en la dirección alejada del interior de la región. Más adelante la solución fue afectada con el cambio de la longitud., basado en la teoría de la difracción.

Chacrabarti (2005) realiza un estudio global de la Ingeniería de las estructuras Offshore, presentando desde el análisis, diseño, problemas de fatiga e instalación de las plataformas marinas.

En el caso de la respuesta por efecto de sismos se debe tener en cuenta la interacción fluido estructura, esta interacción incrementa las fuerzas dinámicas, y modifica las propiedades dinámicas de la estructura. Además, esta interacción fluido estructura incrementa el periodo de

la estructura con relación a si la estructura estuviera en tierra, presentando un incremento del amortiguamiento en las respuestas dinámicas (PEMEX (2007)).

Según Chacrabarti (2005) el valor del máximo desplazamiento horizontal en la plataforma será menor a 2 pulgadas

Según Rodríguez y Rueda (2009). La distorsión máxima entre niveles no debe exceder a 0.03%

2.2.6 Parámetros de diseño

Como resultado de evaluar la respuesta no lineal de las diferentes plataformas marinas estudiadas, se presentarán una serie de directrices tenidas en cuenta en el dimensionamiento de los elementos estructurales, las cuales están respaldadas con las Normas Internacionales como ya se indicó API-RP 2A.

Se tienen los siguientes parámetros:

Parámetros operacionales, parámetros medioambientales y parámetros estructurales.

2.2.6.1 Parámetros operacionales

Se consideran dentro de este campo la función de la plataforma, localización, orientación respecto al norte, dimensiones y pisos de la plataforma, número de pozos, diámetro de pilotes y nivel de exposición.

2.2.6.2 Parámetros medioambientales

Son los parámetros relacionados con el oleaje (nivel medio del mar, elevación cresta de ola, elevación valle ola, marea baja, marea alta astronómica, nivel del mar en calma, nivel del mar en marejada, marea asociada a tormentas, periodo de ola y dirección de ola).

Profundidad del mar, es uno de los parámetros para el diseño, se debe considerar el efecto de las mareas.

Parámetros relacionados con la corriente marina.

Parámetros relacionados con el crecimiento marino, este efecto puede disminuir mediante limpieza periódica de la vegetación marina.

Parámetros relacionados con probabilidad de subsidencia (hundimiento del suelo).

Parámetros relacionados con vientos.

Parámetros relacionados con factores de cálculo hidrodinámico (periodo de ola, Teorías de ola).

También se consideran el sismo, nieve, hielo, esto dos últimos no aplican en nuestro estudio.

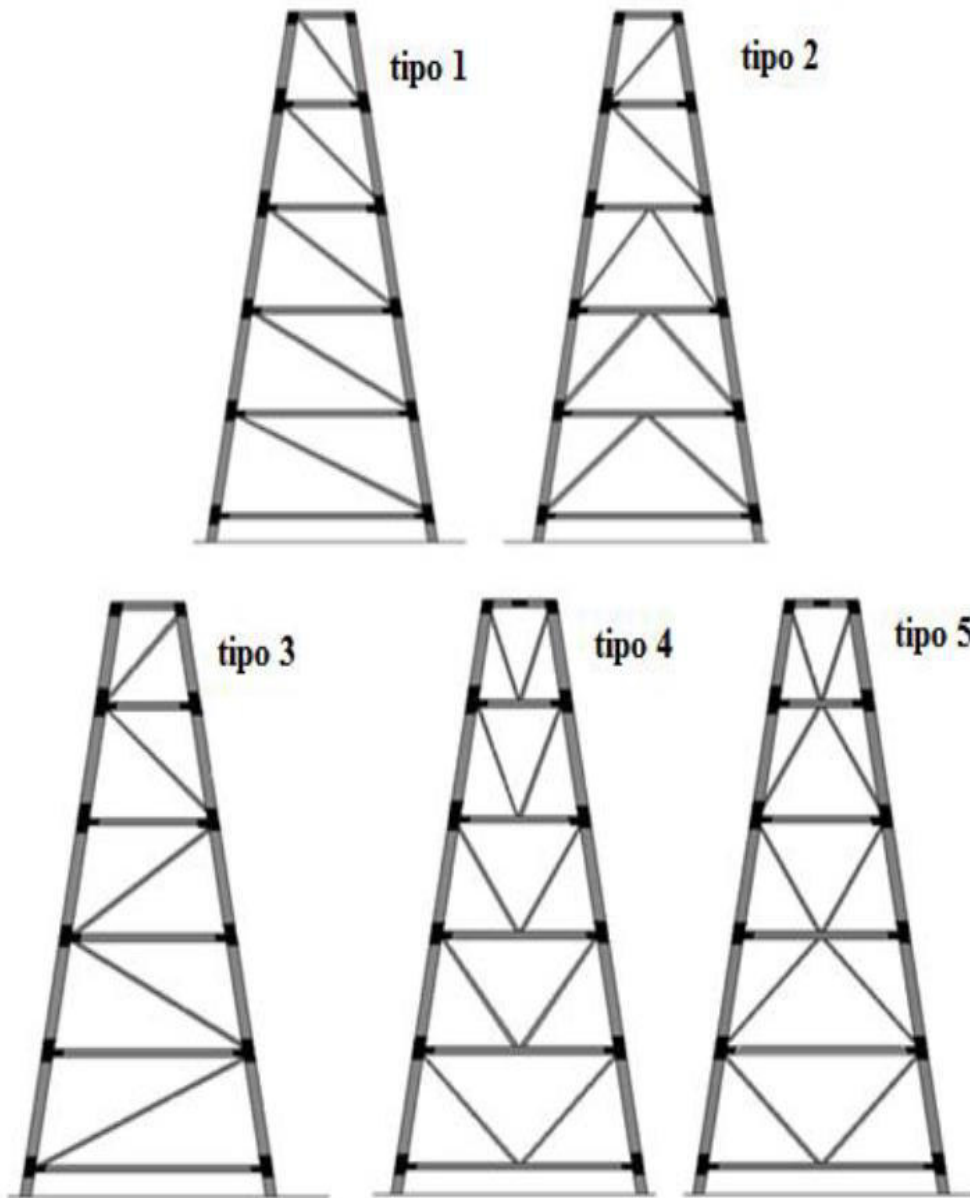
2.2.6.3 Parámetros estructurales

Estos parámetros están relacionados con el tipo de estructura incluyendo dimensiones preliminares y características de los elementos, así como el material a utilizar (acero) y el comportamiento por efecto de fuerzas hidrodinámicas y sísmicas. Con esta información referencial se define de los parámetros de diseño de acuerdo con las normas y bibliografía especializada (Chacrabarti, 2005).

Según Chacrabarti (2005) existe una amplia variación de las configuraciones estructurales en las estructuras fijas cada una con sus ventajas y desventajas, esta configuración estructural se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Configuración estructural plataformas marinas fijas



Fuente: Chacrabarti

En la Tabla 3 se describe los tipos de configuración estructural según Chacrabarti (2005).

Tabla 3

Descripción de configuración estructural de estructuras fijas tipo jacket

Tipo configuración estructural	Descripción	Recomendación uso
Tipo 1 y 2	Consta de pocos elementos que se interceptan en sus nudos, posee poca simetría y redundancia.	Raramente son usadas. No son recomendables
Tipo 3	Consta de pocos elementos que se interceptan en sus nudos, reduciendo costo en ensamblaje y soldadura. Carece de simetría y redundancia. No suministra ductilidad ni robustez ante cargas axiales compresión y tensión	Se usa donde la robustez no es importante y si la zona no es sísmicamente activa
Tipo 4 V	La simetría es adecuada, su ductilidad y redundancia es buena. Su desventaja es el número alto de conexiones en las uniones. Los elementos transmiten altas cargas a los elementos horizontales por lo que deben tener mayores diámetros. Al sustituir los refuerzos V en dirección transversal por esfuerzos en X se obtendrá mayor ductilidad y resistencia	Es muy utilizada en plataformas tipo fija
Tipo 5 X	Esta configuración refuerza totalmente el plano horizontal. Ofrece alta rigidez, ductilidad y redundancia. En sus juntas se encuentran gran intersección de elementos, habrá mayor volumen de soldadura. Al tener alta rigidez reduce periodos de balanceo teniendo un buen comportamiento dúctil	Se uso es popular en estructuras fijas en aguas profundas Uso en regiones con actividad sísmica,

Fuente: Chacrabarti

III. MÉTODO

3.1. Tipos de investigación

3.1.1 *De acuerdo con el fin que persigue*

Según Tamayo (2003) “la investigación aplicada depende de los conocimientos y aportes de la investigación básica. Se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías. Confronta la Teoría con la realidad”

El trabajo es una investigación aplicada, porque se orientará a obtener nuevo conocimiento de fuerzas hidrodinámicas y sísmicas en plataformas marinas del norte del Perú y plasmar estos resultados en parámetros de diseño que servirán para futuros proyectos en dicha zona.

3.1.2 *De acuerdo con el enfoque*

Según Borja (2012) “la investigación cuantitativa plantea que una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar la hipótesis. Se confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente uso de la estadística para establecer con exactitud pautas de comportamiento en una población”.

Según el enfoque la investigación es cuantitativa.

3.1.3 *De acuerdo con la comparación de poblaciones*

Es comparativa porque se comparó los resultados del comportamiento dinámico de las diferentes plataformas marinas.

3.1.4 *Nivel*

Según Hernández (2014) “las investigaciones descriptivas se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”.

Esta investigación es descriptiva, debido a que busca especificar las características oceanográficas, fuerzas hidrodinámicas y sísmicas que serán utilizadas como base en los análisis y diseños de las plataformas marinas.

3.1.5 Diseño.

Esta investigación es experimental, porque se realizó simulaciones del comportamiento dinámico (fuerzas hidrodinámicas y fuerzas sísmicas) de 5 plataformas con diferentes características de profundidad, variación de cargas.

3.2. Población y muestra

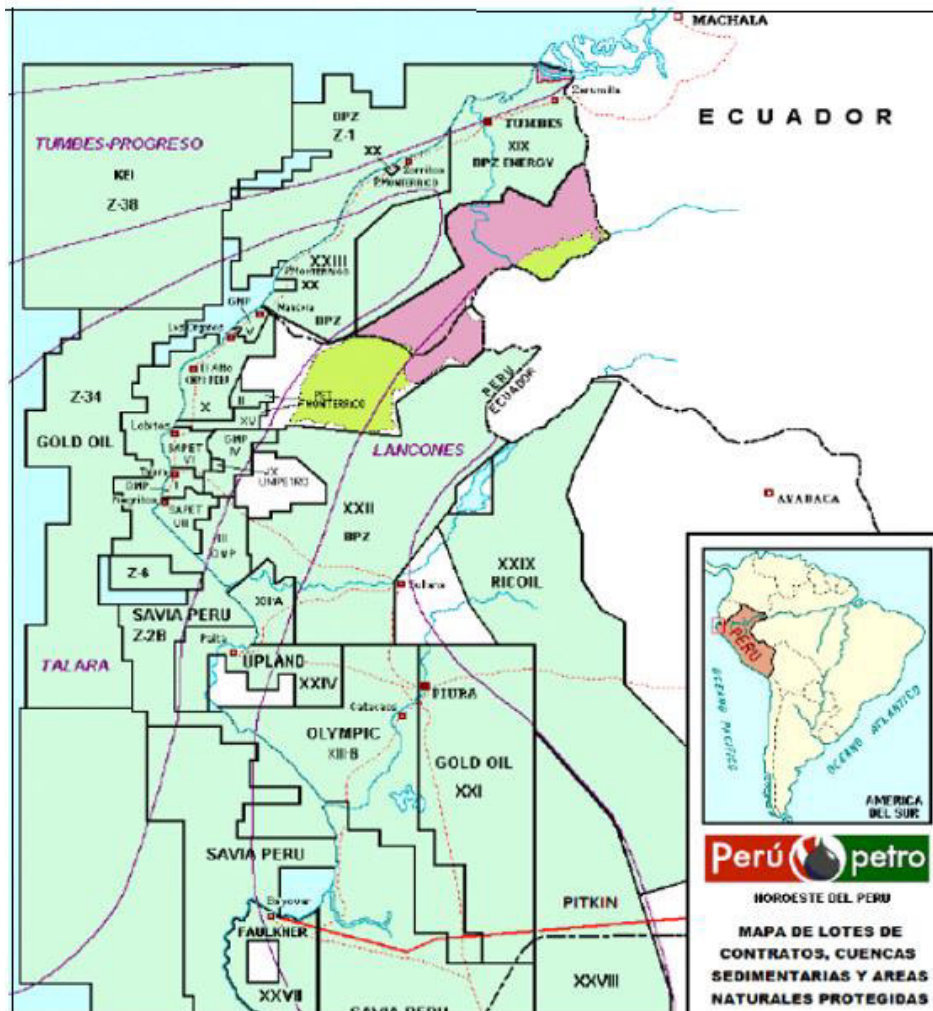
La población está conformada por 81 plataformas marinas en el mar del Norte del Perú, ubicadas en el Lote Z-2B, en el zócalo continental del Océano Pacífico, frente a las costas del departamento de Piura, y abarca las provincias de Talara, Paita y Sechura. El lote abarca un área de 201 401 ha, que ha sido dividida en tres zonas: Campos existentes, Chira Paita y Bahía de Bayóvar, el lote Z-2B se muestra en la Figura 9.

La muestra está representada por cinco plataformas marinas de diferentes alturas con regularidad estructural en planta y altura, considerando que todas las plataformas están cimentadas mediante pilotes. Se diseñó de acuerdo con la normativa API 2A -WSD.

La selección de la muestra se realizó escogiendo plataformas de diferentes profundidades (muestreo no probabilístico de tipo intencional) y esta concuerda con la población.

Figura 9

Población de estudio lote Z-2B



Fuente: Bolaños

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Variables e indicadores

3.3.1.1. Variables de la hipótesis Principal

- Variables Independientes: Fuerza hidrodinámica y Fuerza sísmica.
- Variables Dependientes: Parámetros de diseño en plataformas marinas.

3.3.1.2 Indicadores de la Hipótesis Principal

a) Variable independiente:

-Nivel medio del mar

-Marea alta

-Altura de ola

b) Variable dependiente:

-Función de la plataforma

- Número de pozos

La operacionalización de las variables se detalla en Tabla 4.

Tabla 4

Operacionalización de variables

Hipótesis	Variables	Definición conceptual	Definición Operacional		
			Dimensión	Indicadores	Fuente
Principal	Dependiente	Como resultado de evaluar la respuesta lineal de las diferentes plataformas marinas estudiadas, se presentan una serie de directrices tenidas en cuenta en el dimensionamiento de los elementos estructurales los cuales están respaldados por normas internacionales como API RP 2A	Parámetros oceanográficos Parámetros operacionales Parámetros estructurales	Periodo ola Altura ola Función de la plataforma Numero de pozos Tipo de plataforma Desplazamiento lateral de la estructura Esfuerzos de corte Momentos flectores	Modelamiento Modelamiento Modelamiento Modelamiento Modelamiento Modelamiento Modelamiento

Hipótesis	Variables	Definición	Definición Operacional		
		conceptual	Dimensión	Indicadores	Fuente
Independiente	Fuerzas hidrodinámicas y sísmicas	La fuerza hidrodinámica esta definida por la ecuación de Morison, es esencialmente una formula empírica basada en la teoría de olas y confirmada por experimentos.	Profundidad del mar	Altura de ola	Modelamiento
		Para que sea válida la ec. De Morison $D/L < 0.2$		Longitud de ola	Modelamiento
		La fuerza sísmica está definida por el espectro de respuesta de aceleraciones de la zona de las plataformas		Periodo de ola	Modelamiento
				Diámetro de tubos principal (D)	Modelamiento
				Periodo de la estructura.	Modelamiento
				Fuerza de dragado	
				Fuerza de arrastre	
				Espectro de aceleraciones	

Fuente Elaboración propia

3.4. Instrumentos

Los instrumentos que se usó para la recolección de los datos fueron experimentales, la técnica es de observación directa en gabinete, los instrumentos utilizados son legítimos y fiables para ser utilizados en la investigación, se utilizaron el programa computacional SAP2000 v2020 y hoja de cálculo Excel, utilizados dentro de los criterios de calidad exigidos por las normas nacionales vigentes E020 Cargas, E030 Sismorresistente, E-090 Estructuras metálicas y la normas internacionales API RP 2a y PEMEX.

3.5. Procedimientos

Se analizó el comportamiento dinámico de un modelo tridimensional de una estructura offshore real. Sobre el actúan las mismas cargas que se esperan sobre una plataforma real, el material empleado fue acero, se consideraron los parámetros que caracterizan el estado del mar del norte del País (altura de ola, amplitud de ola de diseño y periodo de ola de diseño).

Primeramente, se evaluó la respuesta no lineal tanto para fuerzas hidrodinámicas como fuerzas sísmicas para cada plataforma marina.

Luego se compararon los resultados para las cinco plataformas evaluando la incidencia de las fuerzas hidrodinámicas y sísmica en la resistencia y la respuesta no lineal para las plataformas estudiadas.

Se presentan parámetros de diseño válidos para estructuras menores de 100 m y las características del mar del norte del Perú, validándolos con las normas API.

Se evaluó los efectos (económicos y resistencia estructural) por métodos de optimización.

Tuvieron las siguientes etapas:

Estudio de las estructuras existentes en el mar del Norte-Talara.

Estudio de la fuerza hidrodinámica, mar del norte del Perú Talara.

Estudio de la fuerza sísmica para las plataformas marinas en el mar del Norte del Perú Talara.

Adaptación de algoritmos para linearizar la fuerza hidrodinámica.

Elaboración del programa de cómputo para la respuesta dinámica de la estructura.

Procesamiento de los resultados de la respuesta no lineal de la estructura.

Evaluación y comparación de resultados de los parámetros de diseño y optimización para las estructuras offshore menores de 100 metros.

3.6. Análisis de datos

Para el análisis y procesamiento de información se utilizó el programa computacional SAP 2000 v20. El análisis fue comparativo, cuantitativo y cualitativo. La información se presenta mediante gráficas y tablas.

IV. RESULTADOS

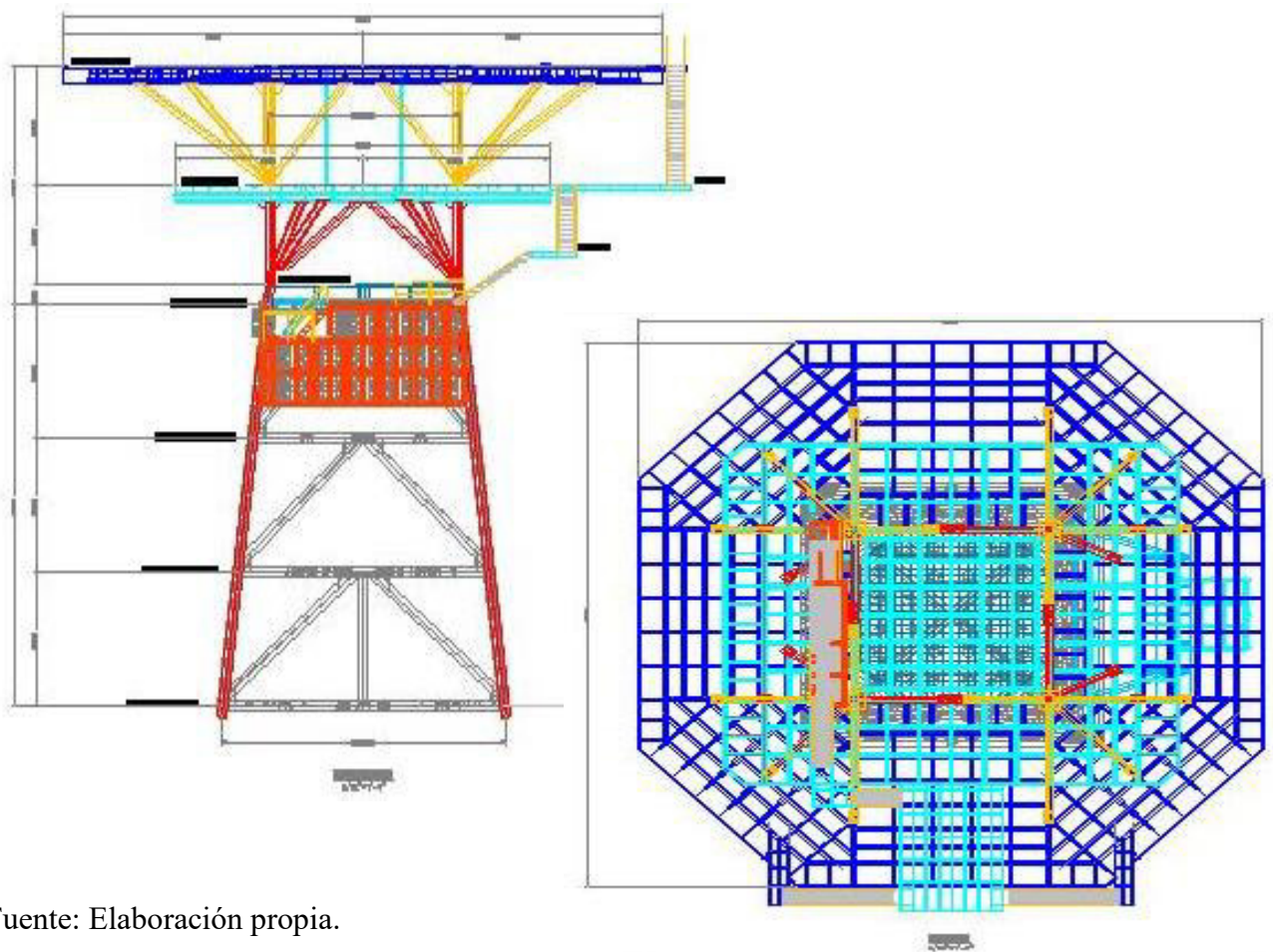
4.1. Plataformas marinas analizadas en el mar del norte del Perú.

Según lo indicado en el capítulo III la población formada por 81 plataformas marinas del norte del Perú, ubicadas en el lote Z-2B en el zócalo continental del océano Pacífico, frente a las costas del departamento de Piura y abarca las provincias de Talara, Paita y Sechura.

En la Figura 10 se muestra la elevación y planta de una plataforma existente en el mar del norte del Perú, donde se observa la superestructura (plataforma superior, intermedia e inferior), la subestructura y en el fondo marino los pilotes.

Figura 10

Plataforma marina existente en el mar del norte del Perú. Elevación y Planta



Fuente: Elaboración propia.

Las plataformas existentes en el lote Z-2B, son plataformas asistidas, se denominan así porque son asistidas por barcazas que complementan los trabajos de almacenamiento, instalaciones para el personal, Figura 11 (Rumbo Minero, 2015).

Figura 11

Plataforma marina existente mar del norte del Perú. Asistida por barcaza



Fuente: Rumbo Minero (2015).

Para el presente trabajo se evaluaron 5 plataformas marinas, con diferentes parámetros operacionales: función de la plataforma, localización, dimensiones y pisos de la plataforma. Dado que el estudio es determinar parámetros de diseño, las plataformas estuvieron ubicadas en la zona de Talara donde se presentan características oceanográficas comunes para las plataformas, variaron las profundidades del mar de 12 a 100 metros, las características geométricas de las plataformas 1, y 3 corresponden a plataformas existentes y las plataformas 2, 4 y 5 son características hipotéticas que se ajustan a las recomendaciones API RP 2A-WSD.

En cuanto al uso son de perforación y producción, todas se consideraron de 3 niveles para exploración y explotación, por tanto, todas las plataformas tuvieron las mismas cargas. Se muestran en la Tabla 5 las plataformas con sus parámetros operacionales, en la figura 12 se muestra la configuración estructural, para las 5 plataformas marinas evaluadas, se observa que se tomaron configuraciones del tipo2, tipo4 y tipo 5 según se vio en la figura 8 y tabla 3.

Tabla 5

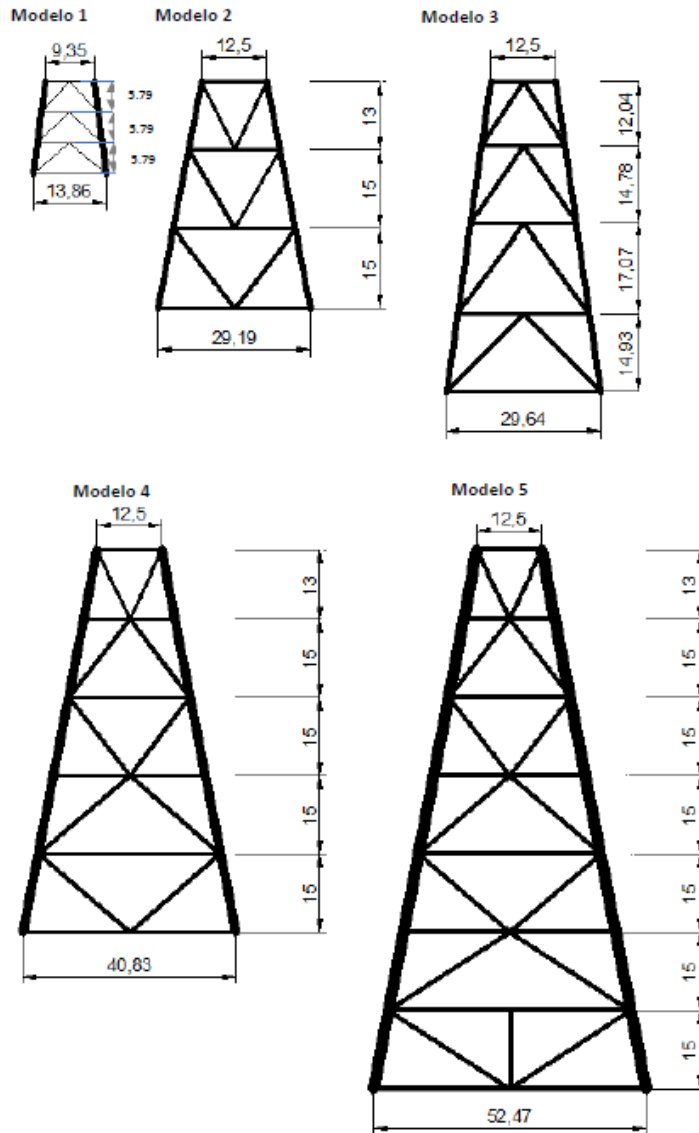
Plataformas estudiadas-parámetros operacionales

Tipo Plataf	Profundidad (m)	Localización	Uso	Nº cubierta
Modelo1	12	Talara	Expl/perf	3
Modelo 2	35	Talara	Expl/perf	3
Modelo 3	50	Talara	Expl/perf	3
Modelo 4	65	Talara	Expl/perf	3
Modelo 5	96	Talara	Expl/perf	3

Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Plataformas estudiadas-Configuración estructural-Modelos 1 al 5



Fuente: Elaboración propia

4.2 Características oceanográficas en el mar del norte peruano

Como ya se vio los parámetros medioambientales, son los parámetros relacionados con el oleaje, corriente marina, crecimiento marino, probabilidad de subsidencia y relacionados con los vientos.

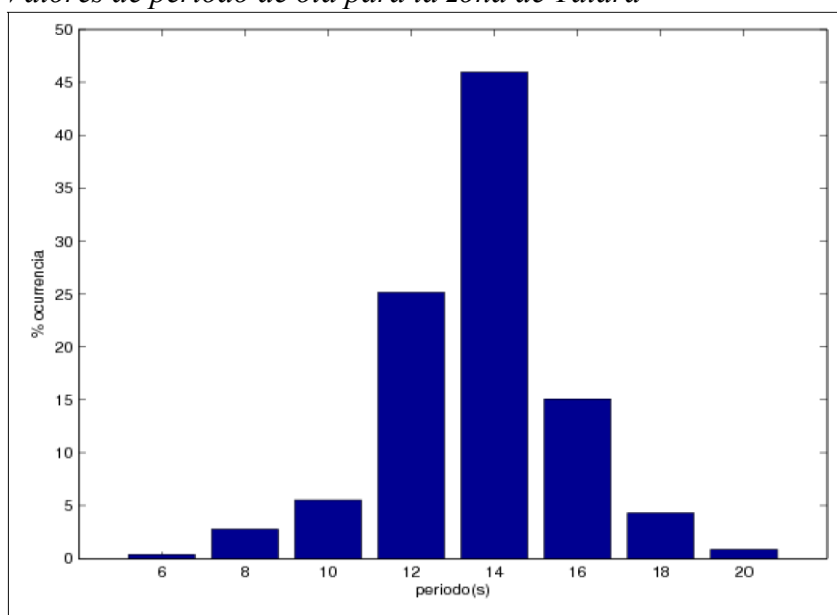
Según Masmar (2013) de estos parámetros, 3 son variables independientes que son determinados, tal como la altura de ola, amplitud de ola y periodo de ola, los otros parámetros dependen de estos primeros y se calculan por formulas simples.

4.2.1 Periodo y altura de ola

Según la DHN en la costa Norte del Perú, con relación al periodo, se muestran que las olas de mayor altura tienen periodos más largos y las olas de menor altura tienen periodos más cortos. Según DHN para los periodos se toma como periodo 14 segundos, es el que tiene mayor porcentaje de ocurrencia para la zona en estudio, como se muestra en la Figura 13, además muestran los valores de alturas significante de ola, valores de 2,5 metros, ver figura 14.

Figura 13

Valores de periodo de ola para la zona de Talara

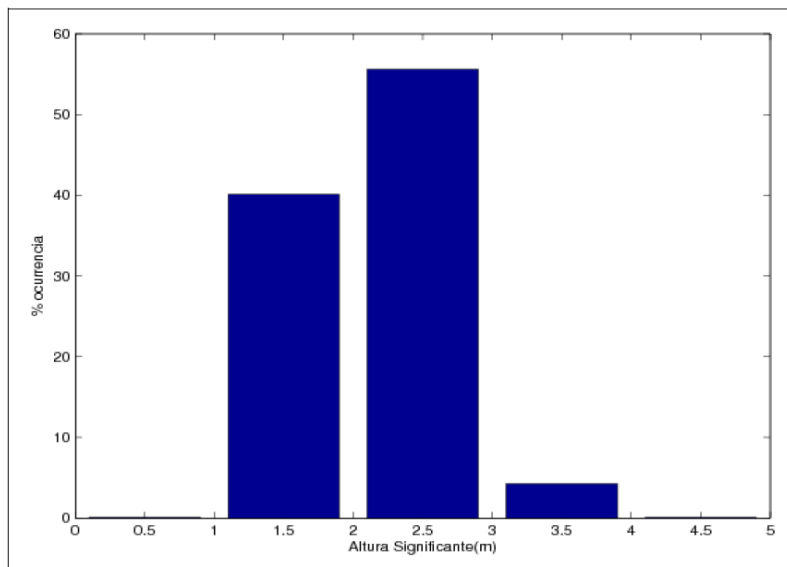


Nota: Unidades del periodo en el eje x es segundos y en el eje y es el % de ocurrencia.

Fuente: DHN

Figura 14

Valores altura de ola para la zona de Talara



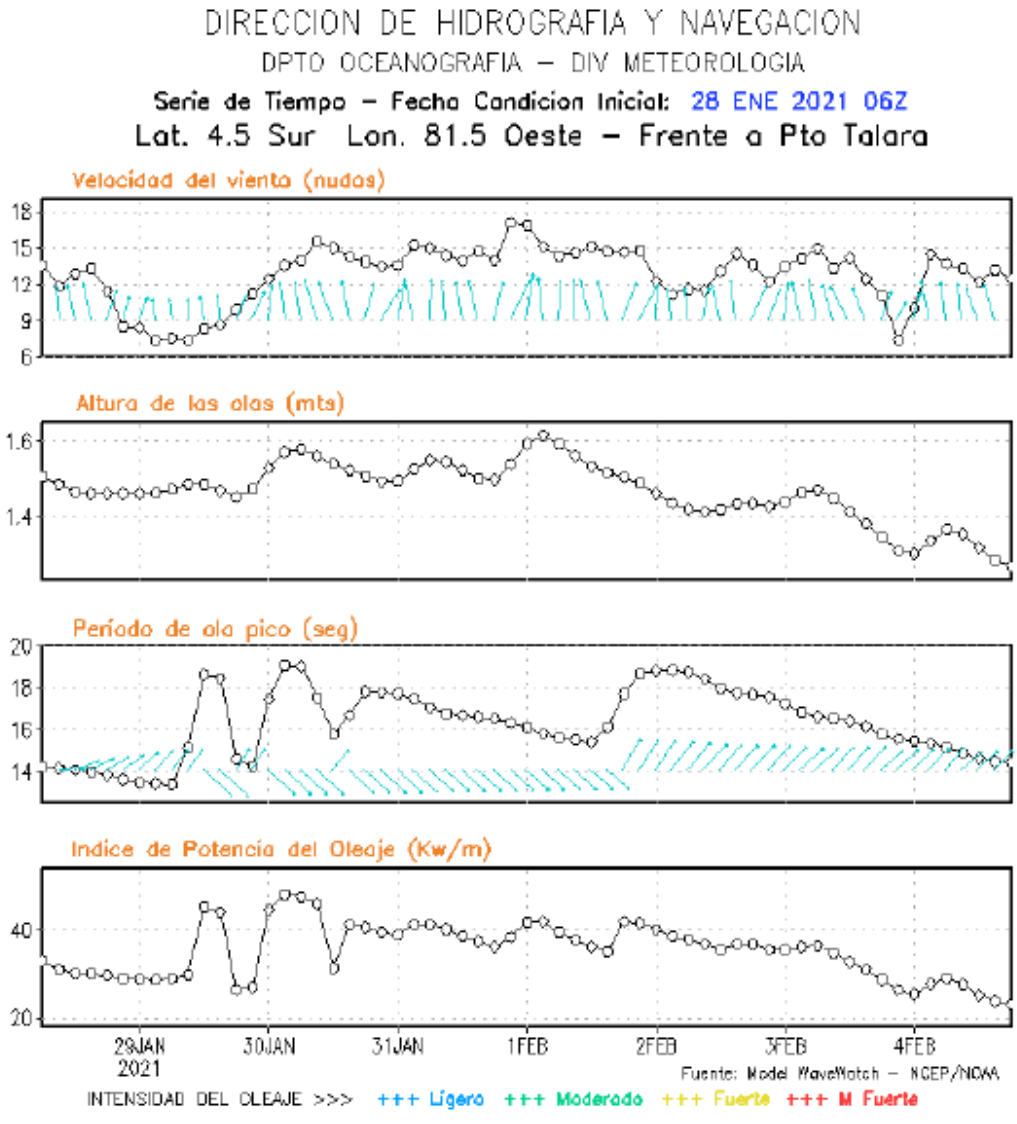
Nota: Unidades de la altura de ola en el eje x es metros y en el eje y es el % de ocurrencia.

Fuente: DHN.

Según la DHN se muestran 2 registros para diferentes fechas, al frente del puerto de Talara, donde la velocidad del viento llega a 19 nudos, la altura de ola a 2,20 metros, periodo de olas de 12 a 19 segundos, el índice de potencia de oleaje de 30 a 65 kw/m, en las Figuras 15 y 16 se muestran ambos registros.

Figura 15

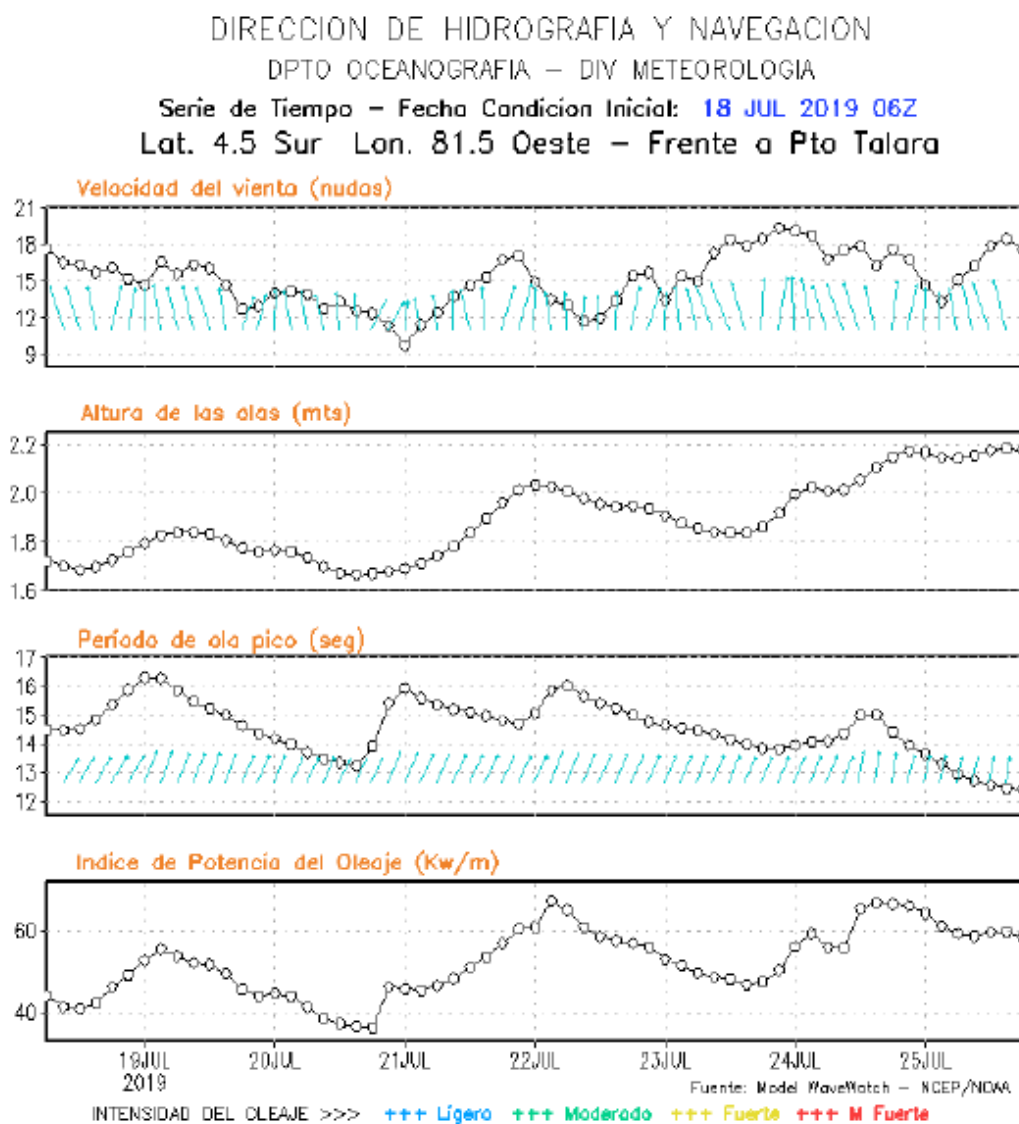
Velocidades, alturas de ola, periodo de ola, índice de potencia de oleaje. Enero 2021



Fuente: DHN

Figura 16

Velocidades, alturas de ola, periodo de ola, índice de potencia de oleaje, julio 2019



Fuente: DHN.

A lo largo del litoral, la dirección del flujo de la marea tiene una dirección NNW a SSE al norte de los 60 de latitud Sur, la marea es predominantemente semidiurna, con dos pleamar (marea alta) y dos bajamar (marea baja) cada día, al sur de esta latitud las mareas son mixtas, los rangos de amplitud van desde los 2,2 m en la parte norte hasta los 0,914 m en la parte sur.

La importancia de las mareas en este estudio es para el diseño de las plataformas porque permite calcular la altura de ola de diseño. En la Figura 17 y Tabla 6, se muestra un registro de mareas para la zona del mar del norte del Perú.

Figura 17

Mareas para la zona en estudio



Fuente: DHN

Tabla 6*Tabla de mareas Talara*

TABLA DE MAREAS TALARA	
01-03-2021	
Hora	cm
05:17:00	182
11:26:00	13
17:45:00	203
23:59:00	22

Fuente: DHN.

La altura de ola de diseño, se calcula como:

$$Hd = H + a'$$

Donde

Hd es la altura de ola de diseño

H altura de ola.

a' marea astronómica ordinaria.

Para las características del mar norperuano considerando los valores máximos, altura de ola $H=2.50\text{m}$, la marea astronómica ordinaria $a'=2.2\text{m}$, resulta una altura de ola de diseño:

$$Hd=2.50+2.2=4.70\text{m}$$

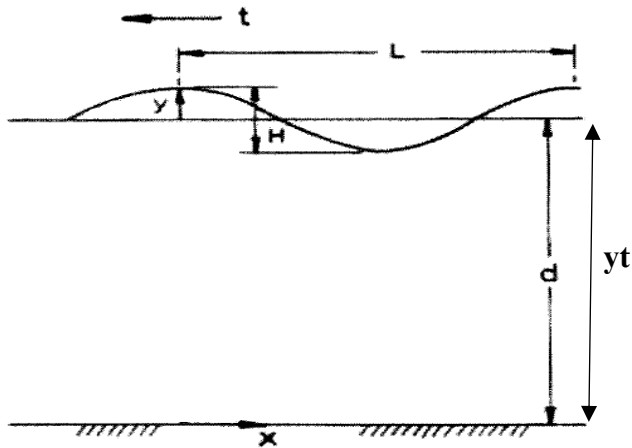
4.2.2 Teoría de olas

La teoría lineal olas, da muy buenos resultados para pequeñas amplitudes de olas como para relaciones de H/d , la razón del declive de ola H/L debe ser pequeño para que de buenos resultados. Para condiciones normales del mar H/L varía entre $1/15$ a $1/20$. En adición

$L^2H/(2d^2)$ debe ser pequeño, en esta expresión H es la altura de ola y d es la profundidad del mar, L es la longitud de ola. En la Figura 18 se muestran los términos del perfil de ola.

Figura 18

Definición de los términos del perfil de ola



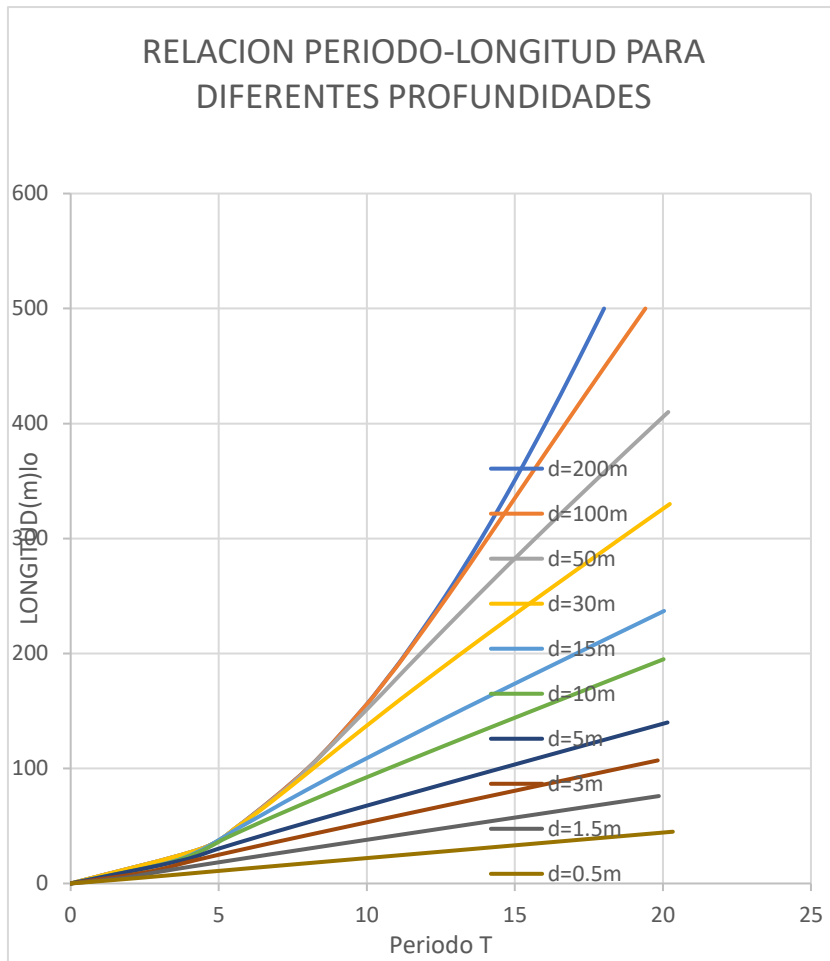
Fuente: Chacrabarti

En la Tabla 1, Chacrabarti (2005) presenta las fórmulas para la teoría Lineal de olas.

Con estos valores se graficaron las relaciones entre el periodo de ola y la longitud de ola para diferentes profundidades según Figura 19. Donde se observa que para mayores profundidades la longitud de ola aumenta.

Figura 19

Relación periodo de ola – longitud de ola, para diferentes profundidades



Fuente: Elaboración propia

Con las fórmulas mostradas en la Tabla 5 se realizaron operaciones algebraicas en la ecuación de la velocidad obteniéndose la siguiente expresión:

$$u = \frac{H \pi \cosh \left[\frac{2\pi}{L} \left(\frac{H}{2d} \cos \left(2\pi \frac{x}{L} \right) + 1 \right) \frac{y^2}{d} \right]}{T \sinh \left(\frac{2\pi d}{L} \right)} \cos \theta \quad (2)$$

Se evaluaron las fórmulas para la velocidad y aceleración que son necesarias para calcular la fuerza hidrodinámica en cilindros rígidos y flexibles. Se presentan tablas para determinar la velocidad y la aceleración, en la Tabla 6 se dan los valores de la velocidad

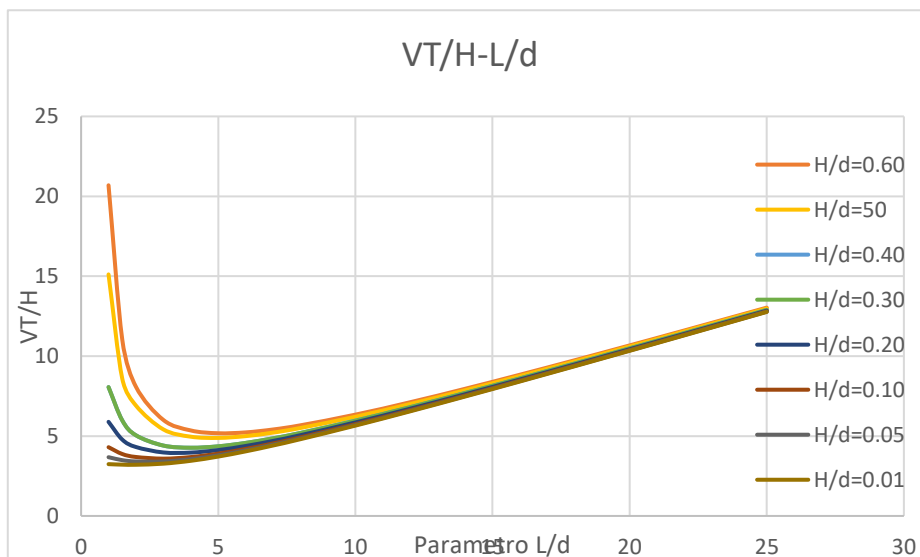
adimensional VT/H , con la variación de los siguientes parámetros que intervienen en su cálculo; L/d y H/d , se varía el parámetro L/d que determina si la ola esta es para aguas profundas, intermedias o poco profundas

- $L/d \leq 2$ aguas profundas
 $2 < L/d < 20$ aguas intermedias
 $L/d > 20$ aguas superficiales

En la Figura 20 y tabla 7, se muestra el comportamiento de la velocidad de ola, mediante los parámetros adimensionales VT/H y la relación L/d , se observa que para valores de L/d menores o igual a 2 está en el rango de aguas profundas, se observa que los valores de VT/H se incrementan, para valores mayores de $H/d=0.3$. Para valores de L/d entre 2 y 20 está en el rango de aguas intermedias, se observa un comportamiento lineal, notándose un incremento de VH/T , si aumenta L/d .

Figura 20

Relación parámetros adimensionales $VT/H-L/d$



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7*Relación parámetros adimensionales VT/H -L/d*

	H/d=	H/d=	H/d=	H/d=	H/d=	H/d=	H/d=	H/d=
L/d	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.01
	VT/H	VT/H	VT/H	VT/H	VT/H	VT/H	VT/H	VT/H
1	20.691	15.113	11.038	8.062	5.888	4.301	3.676	3.242
1.5	11.041	8.595	7.263	5.981	4.778	3.875	3.490	3.210
2	8.080	6.906	5.903	5.046	4.314	3.688	3.410	3.203
3	6.005	5.414	4.881	4.403	3.972	3.586	3.407	3.271
4	5.349	4.959	4.599	4.268	3.963	3.683	3.551	3.450
5	5.174	4.883	4.611	4.357	4.120	3.900	3.796	3.715
6	5.227	4.995	4.775	4.569	4.376	4.194	4.108	4.041
7	5.410	5.215	5.031	4.857	4.693	4.539	4.465	4.407
8	5.671	5.504	5.345	5.195	5.052	4.918	4.853	4.803
10	6.337	6.207	6.082	5.963	5.850	5.743	5.691	5.651
12	7.115	7.007	6.904	6.806	6.712	6.623	6.580	6.547
14	7.956	7.864	7.776	7.692	7.612	7.536	7.500	7.471
16	8.836	8.755	8.680	8.607	8.537	8.470	8.438	8.413
18	9.744	9.673	9.605	9.540	9.478	9.419	9.390	9.368
20	10.669	10.606	10.545	10.486	10.431	10.377	10.352	10.332
22	11.608	11.551	11.495	11.442	11.392	11.343	11.320	11.302
25	13.035	12.985	12.936	12.890	12.845	12.803	12.782	12.766

Fuente: Elaboración propia

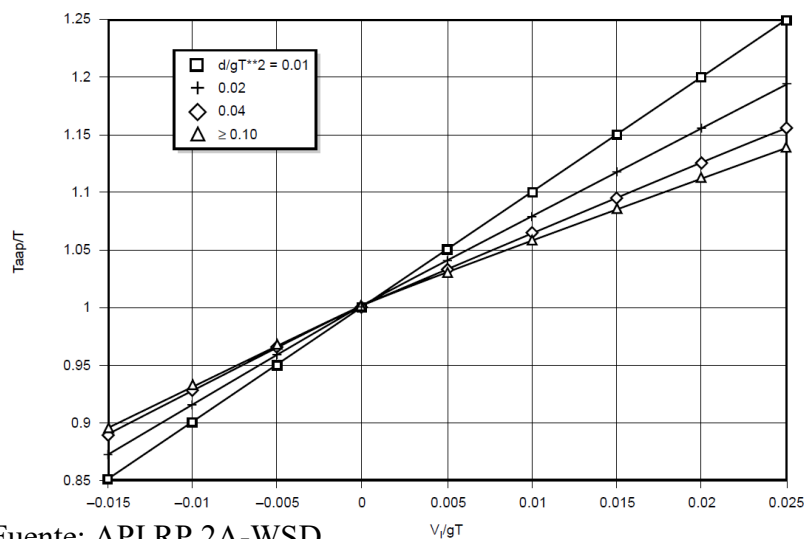
4.2.3. Limitaciones de la Teoría lineal de olas

Dependiendo de la profundidad del mar, en la zona en que la plataforma será instalada, es común adoptar las teorías de Airy, de Stokes de quinto orden, c-noidal o de la ola solitaria, actualmente se usa la teoría *Stream function*, aplicable en una amplia gama de profundidades.

Según API RP 2A-WSD, proporciona figuras para identificar que teoría utilizar, la figura 21, permite encontrar el periodo aparente (T_{aap}), debido a que por la presencia de la corriente va a cambiar la longitud de ola por ende el periodo de onda real (T) según el observador, este periodo aparente se determina en función de la expresión $V_1 gT$, donde V_1 es la componente de la corriente en la dirección de la ola, d es la profundidad del agua del mar (incluyendo mareas), g es la aceleración de la gravedad

Figura 21

Efecto Doppler o periodo aparente debido a corriente estable

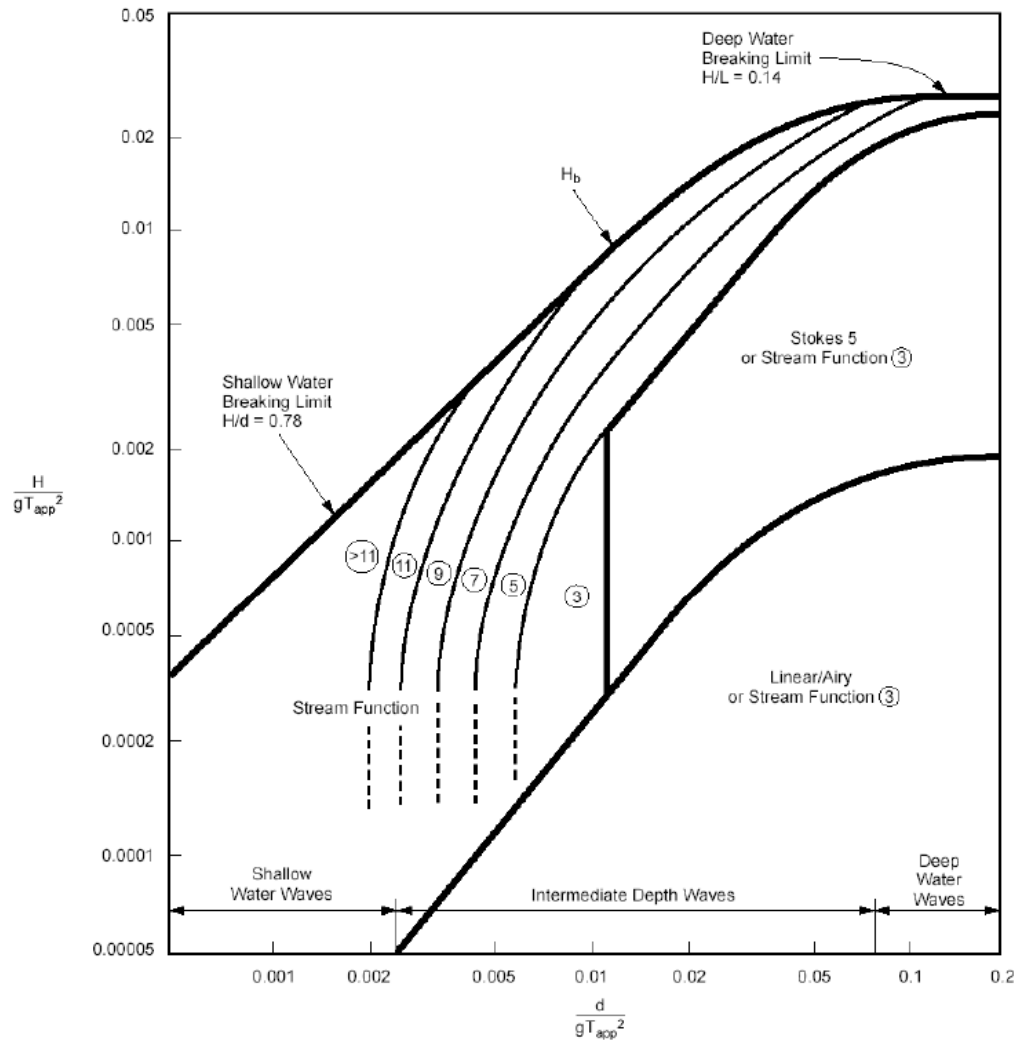


Fuente: API RP 2A-WSD

Con el valor obtenido de T_{aap} se utiliza la Figura 22 para ver las regiones de aplicabilidad de las teorías antes mencionadas.

Figura 22

Regiones de aplicabilidad de las teorías de olas



H/gT_{app}^2 : Dimension less wave steepness d : Mean water depth
 d/gT_{app}^2 : Dimension less relative depth T_{app} : Wave period
 H : Wave height g : Acceleration of gravity
 H_b : Breaking wave height

Fuente: API RP 2A-WSD

4.2.4 Evaluación de las plataformas con diferentes características oceanográficas.

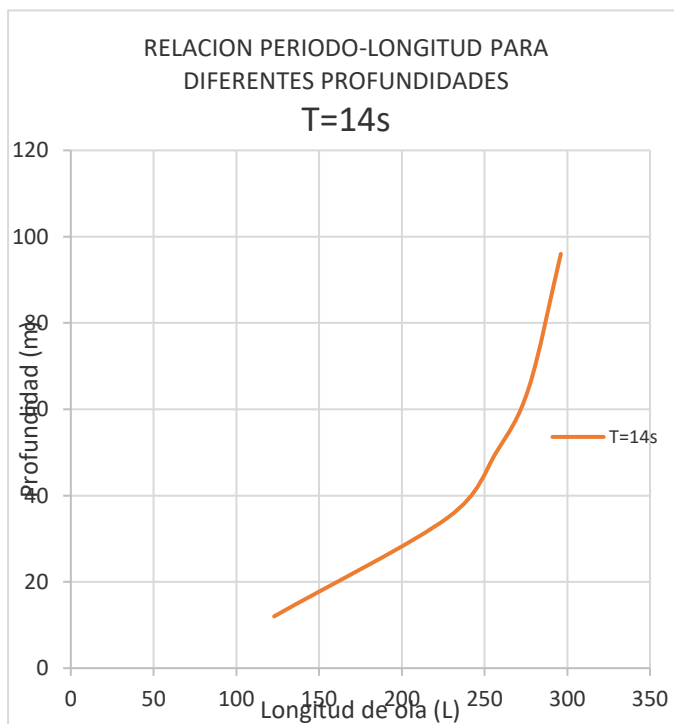
Se evalúa las cinco plataformas con diferentes profundidades, características de periodo de ola, altura de ola y longitud de ola, según se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8*Características de las plataformas marinas*

Tipo Plataf	Profundidad (m)	Periodo ola (s)	Altura ola (m)	Longitud ola(m)
Plataf1	12	14	4,2	122,87
Plataf 2	35	14	4,2	228,18
Plataf 3	50	14	4,2	257,054
Plataf 4	65	14	4,2	276,79
Plataf 5	96	14	4,2	296,12

Fuente: elaboración propia

En la Figura 23 se muestran para las plataformas evaluadas (hasta 100 metros), los valores de longitud de ola para un periodo de 14 segundos.

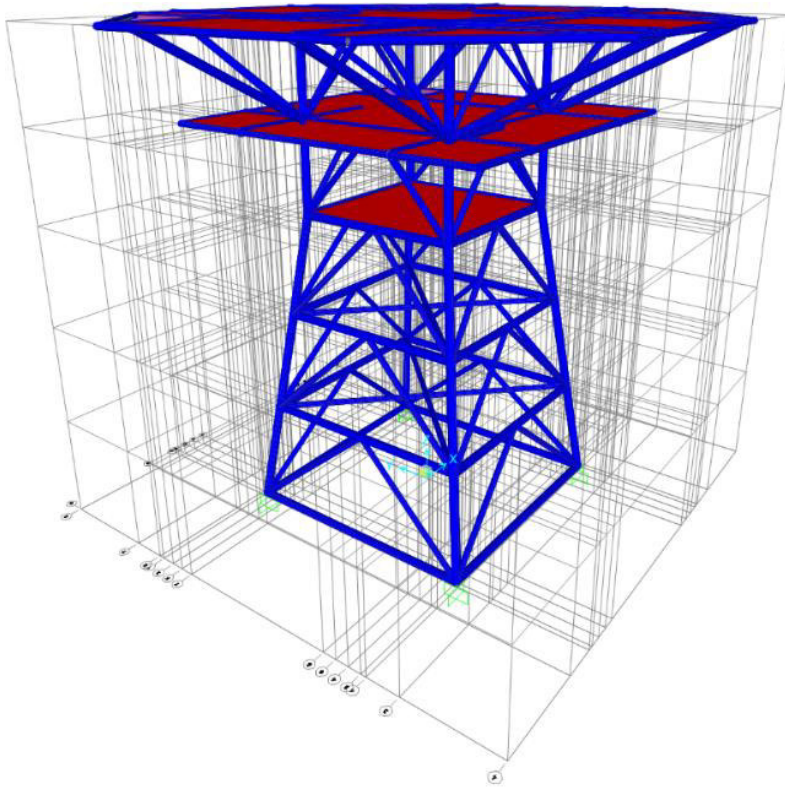
Figura 23*Relación Longitud de ola-periodo de ola para diferentes profundidades*

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 8, la plataforma 1 con profundidad $d=12$ m se muestra en la Figura 24, se observa cubierta inferior, cubierta intermedia y cubierta superior.

Figura 24

Plataforma 1, profundidad 12m



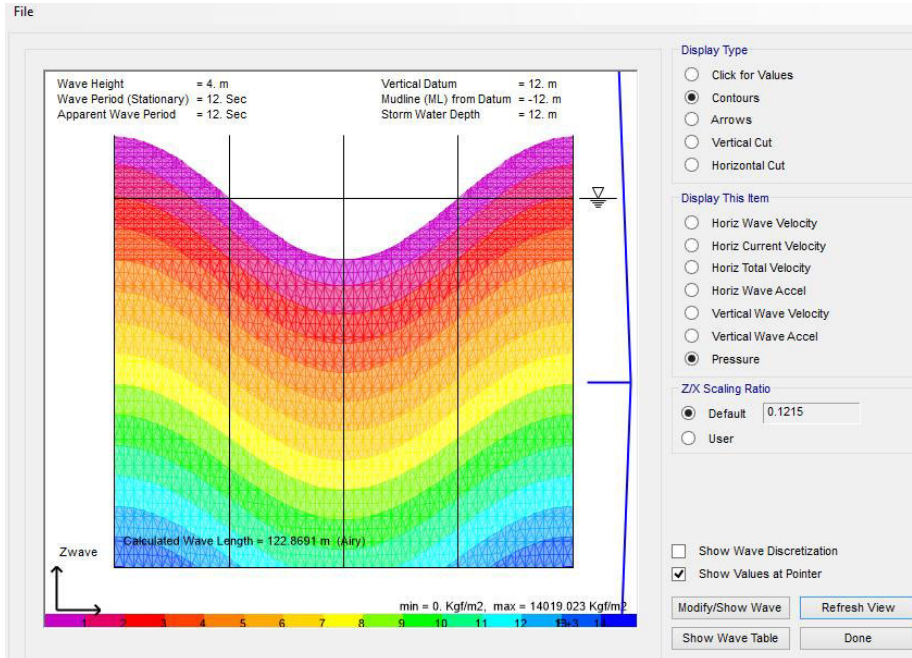
Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 25, 26 y 27 se muestran las variables oceanográficas para la plataforma 1, presiones, velocidades horizontales y velocidad vertical respectivamente.

En la Figura 25 para la plataforma 1 las presiones máximas observadas son de $14019.023 \text{ kgf/m}^2$, que están en el base de la plataforma.

Figura 25

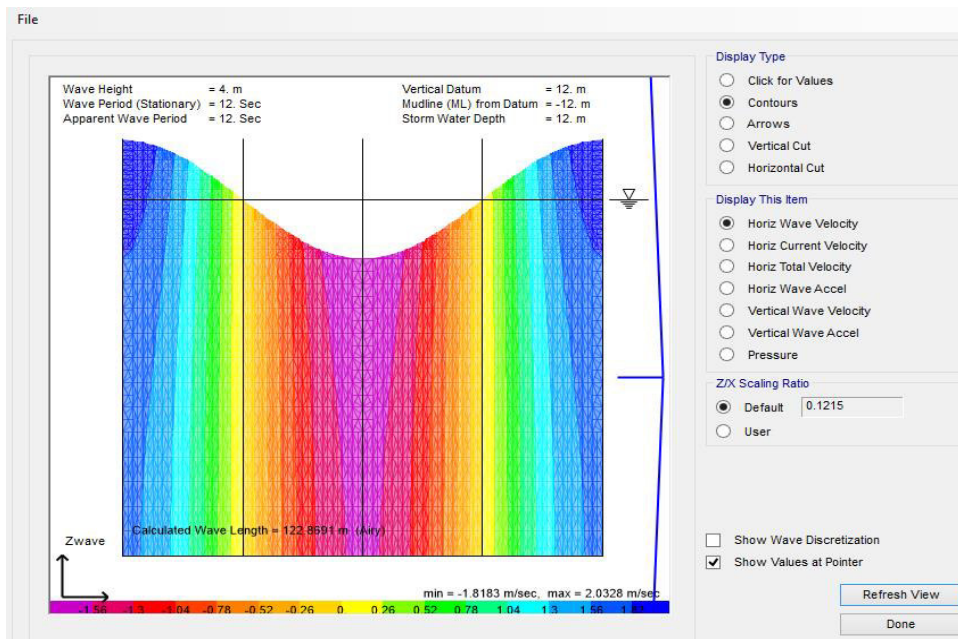
Plataforma 1, variables oceanográficas-presiones



Fuente: Elaboración propia

Figura 26

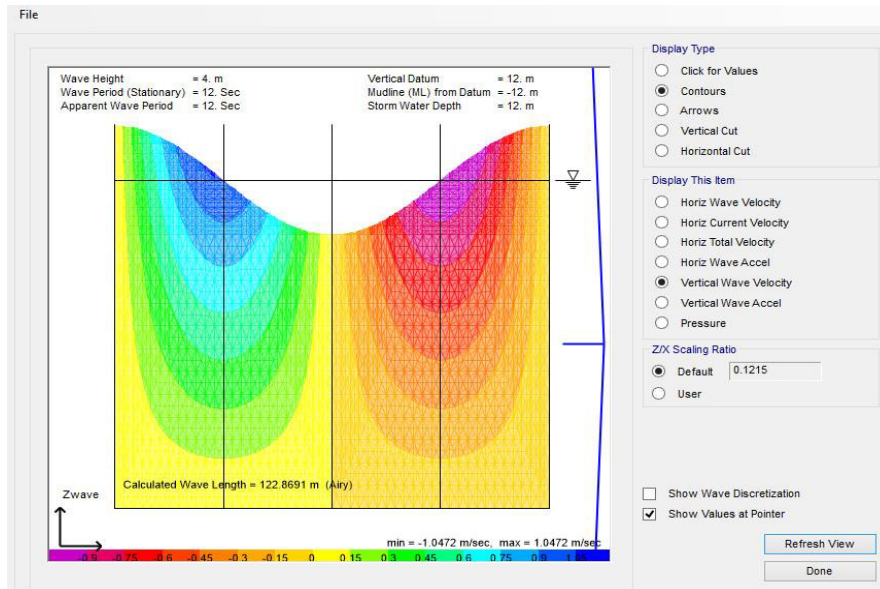
Plataforma 1, variables oceanográficas-velocidad horizontal



Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Plataforma 1, características oceanográficas-velocidad vertical

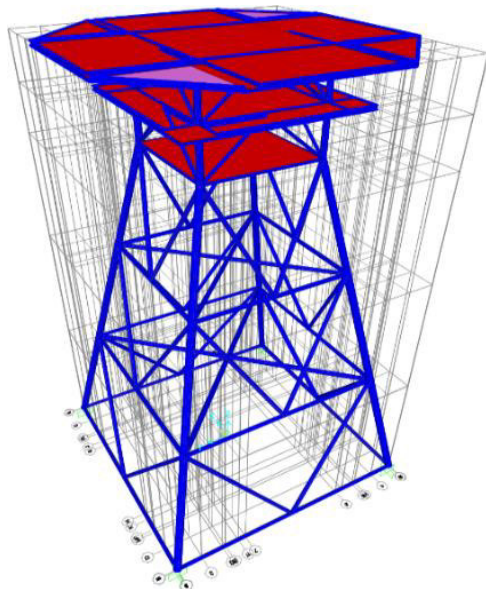


Fuente: Elaboración propia

La plataforma 2 con profundidad $d=35$ m se muestran en la figura 28, se observa cubierta inferior, cubierta intermedia y cubierta superior.

Figura 28

Plataforma 2, profundidad 35m

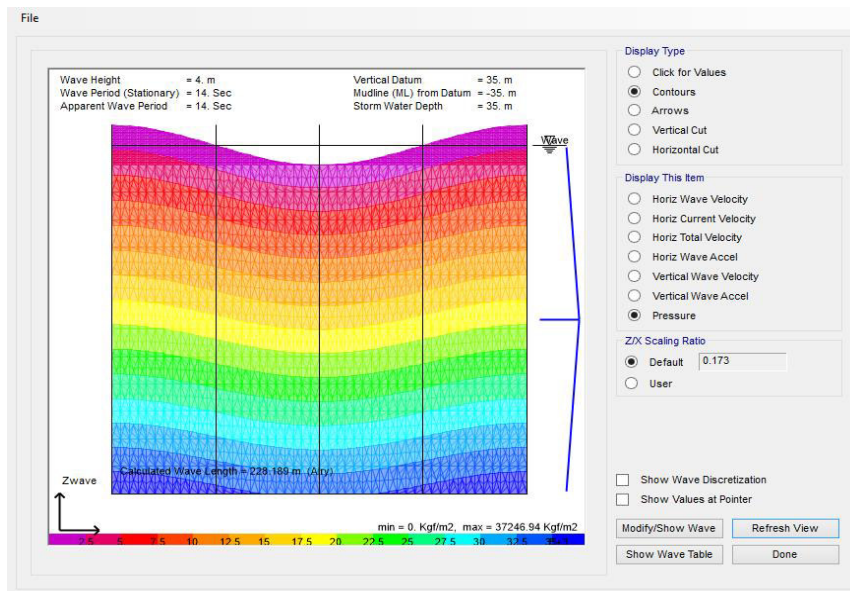


Fuente: Elaboración propia

En las figuras 29, 30 y 31 se muestran las variables oceanográficas para la plataforma 2, presiones, velocidades horizontales y aceleración horizontal, respectivamente.

Figura 29

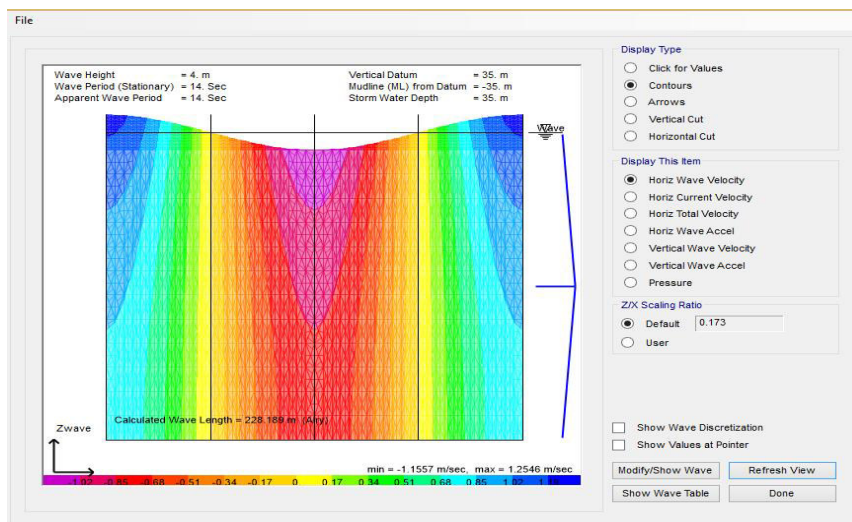
Plataforma 2, variables oceanográficas-presiones



Fuente: Elaboración propia

Figura 30

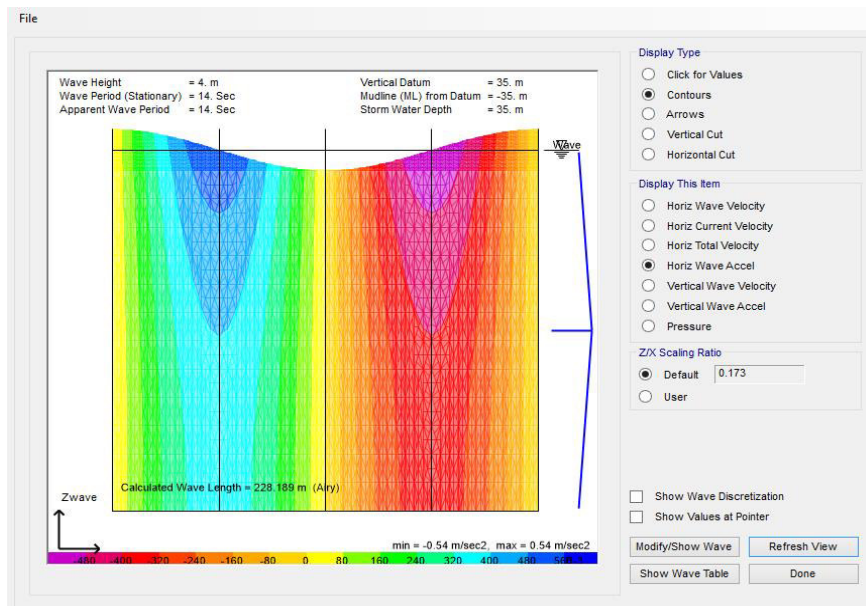
Plataforma 2, variables oceanográficas-velocidad horizontal



Fuente: Elaboración propia

Figura 31

Plataforma 2, variables oceanográficas-aceleración horizontal

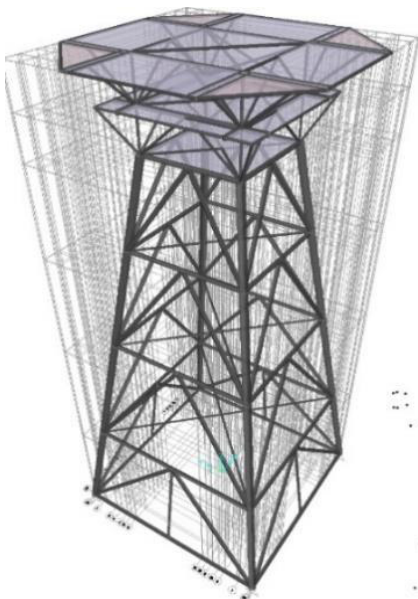


Fuente: Elaboración propia

La plataforma 3 con profundidad $d=50$ m se muestran en la figura 32, se observa cubierta inferior, cubierta intermedia y cubierta superior.

Figura 32

Plataforma 3, profundidad 50m

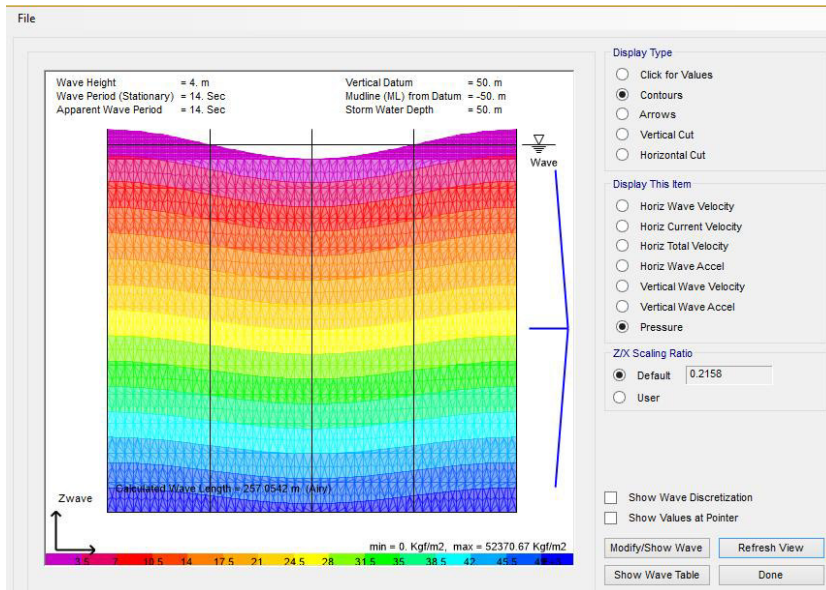


Fuente: Elaboración propia

En las figuras 33, 34, 35, 36 y 37 se muestran las variables oceanográficas para la plataforma 3, presiones, velocidades horizontales, aceleración horizontal, velocidad vertical y aceleración vertical, respectivamente.

Figura 33

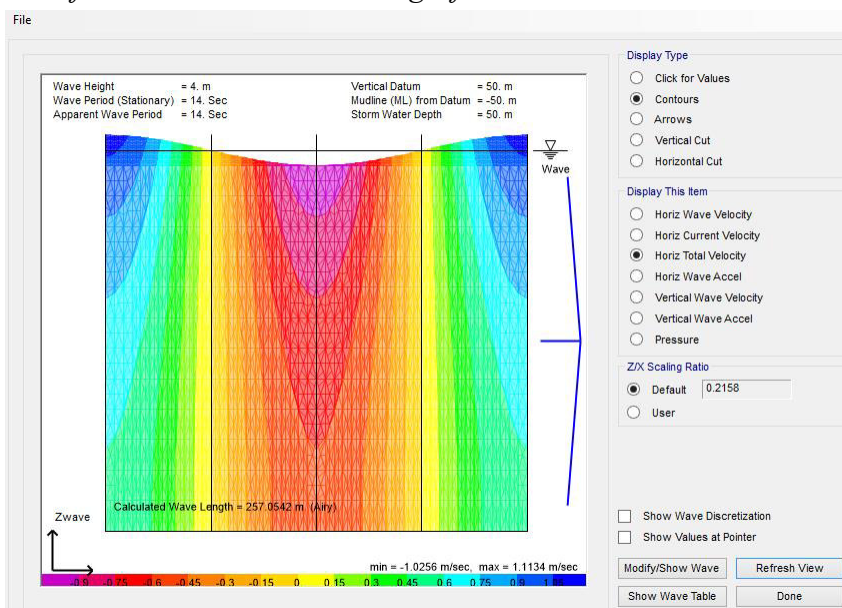
Plataforma 3, variables oceanográficas-presiones



Fuente: Elaboración propia

Figura 34

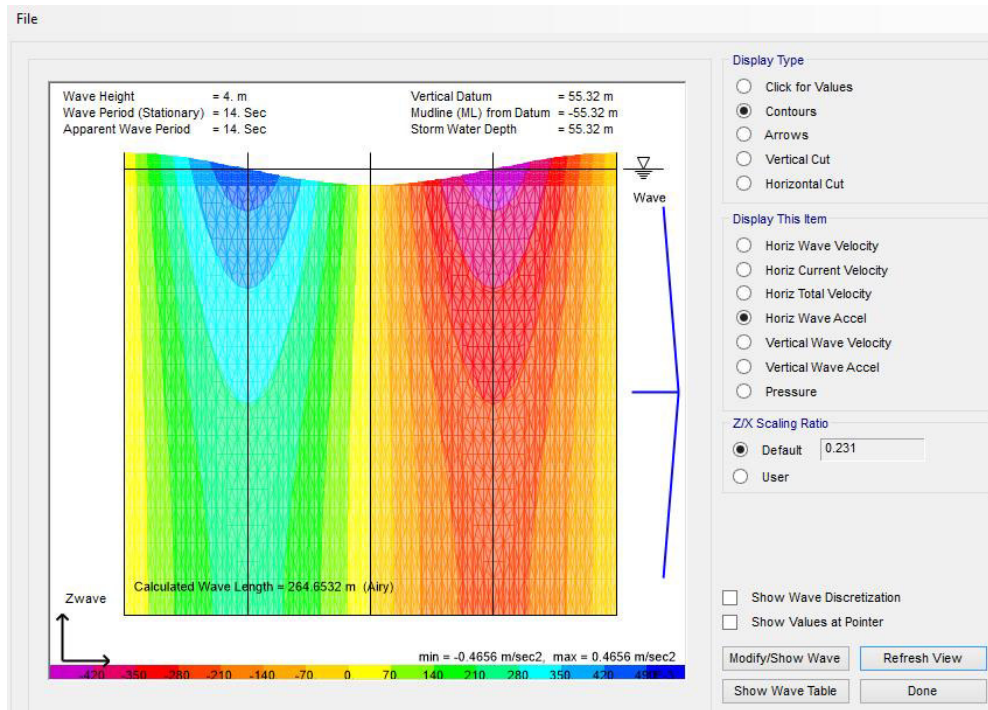
Plataforma 3, variables oceanográficas-velocidad horizontal



Fuente: Elaboración propia

Figura 35

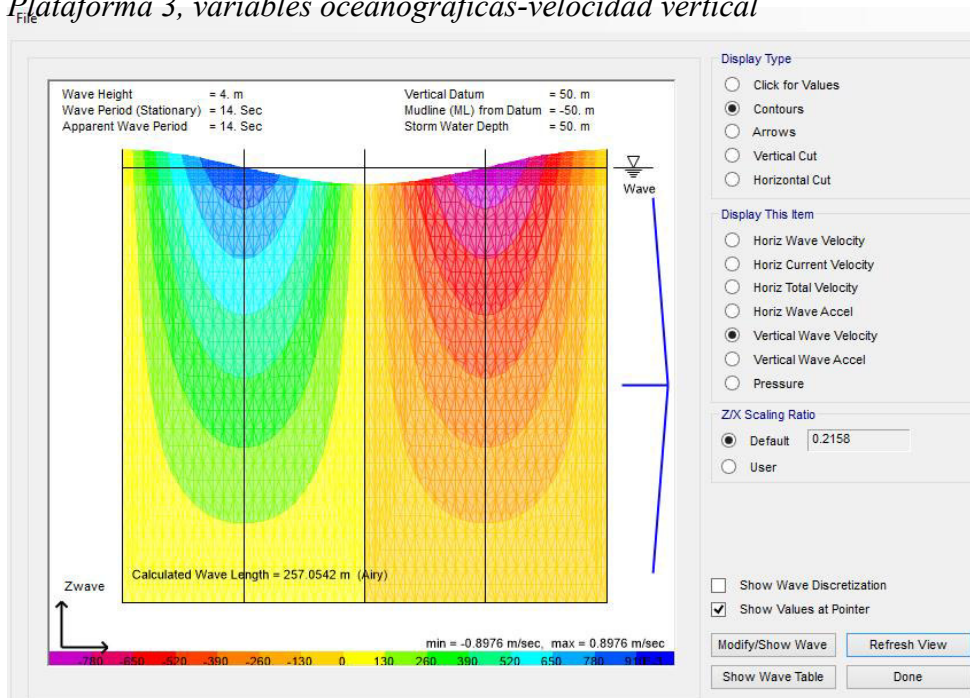
Plataforma 3, variables oceanográficas-aceleración horizontal



Fuente: Elaboración propia

Figura 36

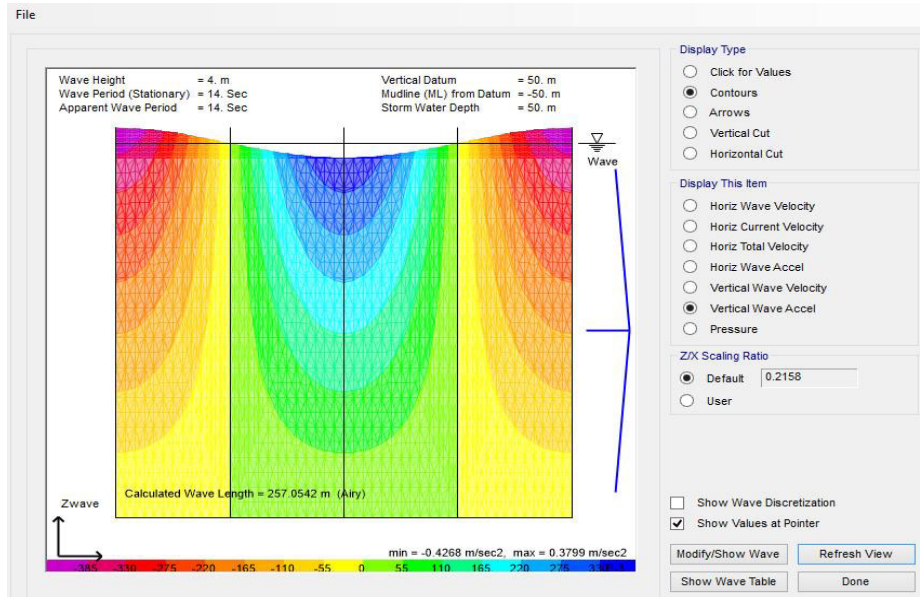
Plataforma 3, variables oceanográficas-velocidad vertical



Fuente: Elaboración propia

Figura 37

Plataforma 3, variables oceanográficas-aceleración vertical

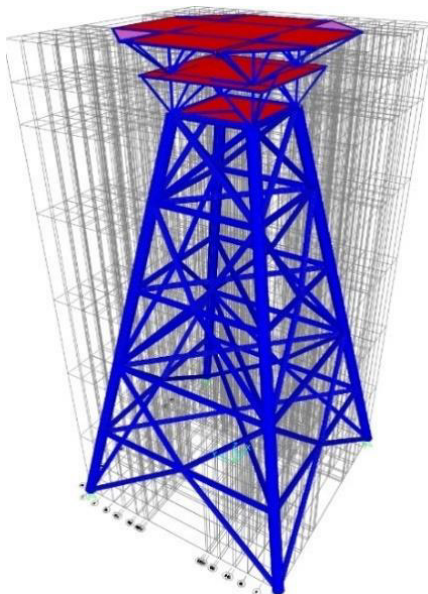


Fuente: Elaboración propia

La plataforma 4 con profundidad $d=65$ m. se muestran en la figura 38, se observa cubierta inferior, cubierta intermedia y cubierta superior.

Figura 38

Plataforma 4, profundidad 65 m

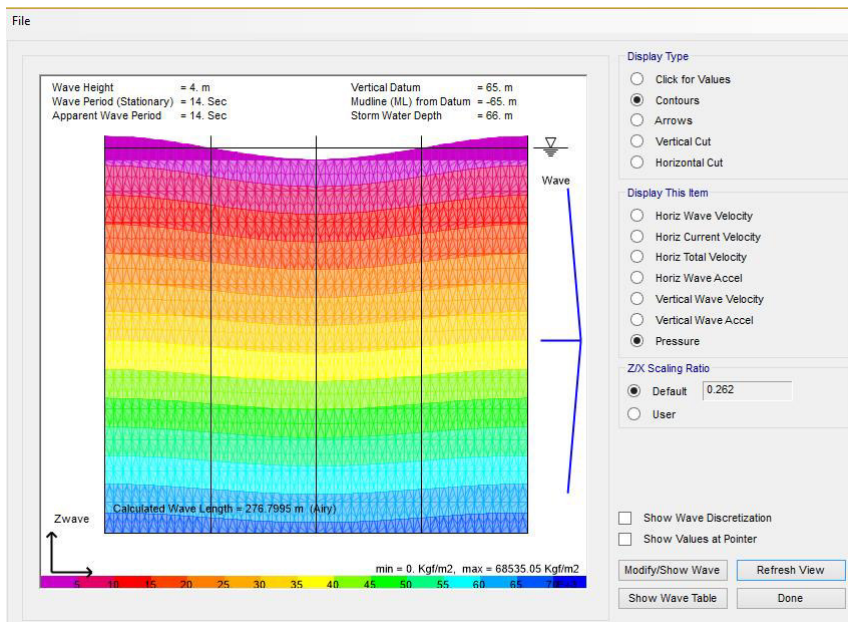


Fuente: Elaboración propia

En las figuras 39 y 40 se muestran las variables oceanográficas para la plataforma 4, presiones y aceleración vertical, respectivamente.

Figura 39

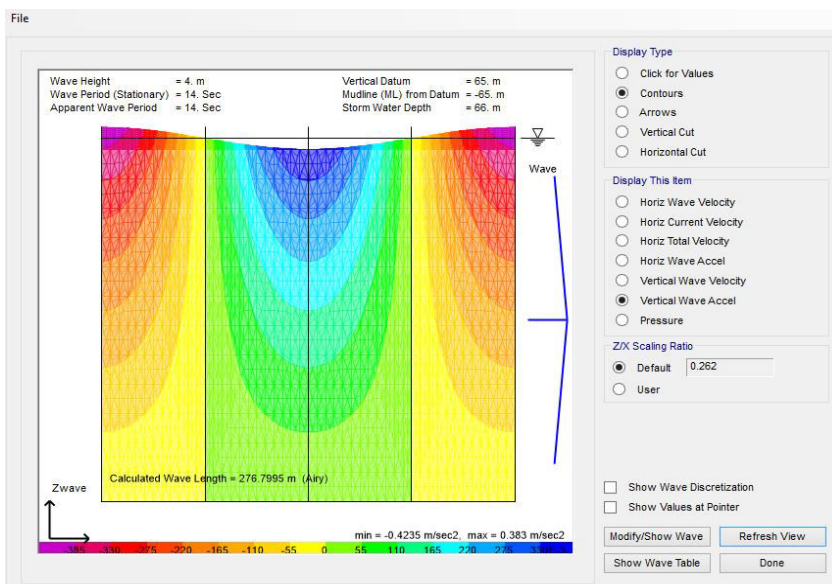
Plataforma 4, variables oceanográficas-presiones



Fuente: Elaboración propia

Figura 40

Plataforma 4, variables oceanográficas-aceleración vertical

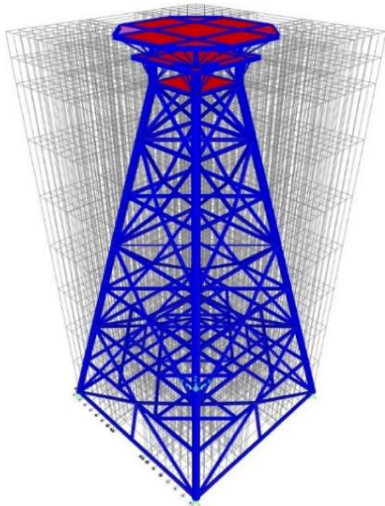


Fuente: Elaboración propia

La plataforma 5 con profundidad $d=96$ m. se muestran en la figura 41, se observa cubierta inferior, cubierta intermedia y cubierta superior.

Figura 41

Plataforma 5, profundidad 96m

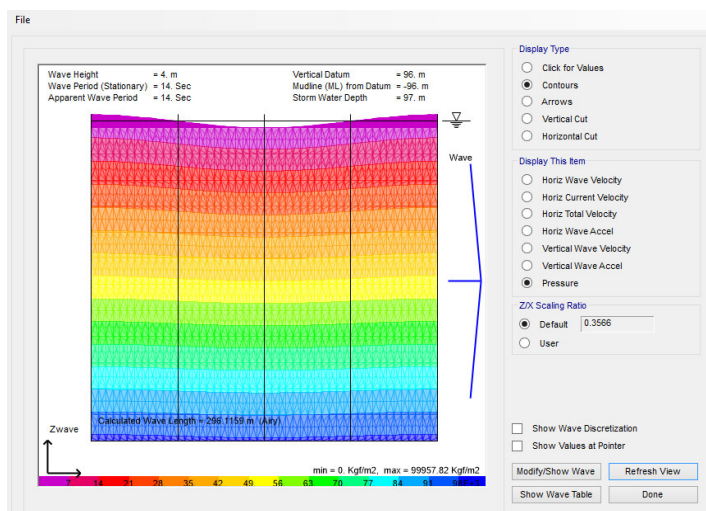


Fuente: Elaboración propia

En las figuras 42, 43 y 44 se muestran las variables oceanográficas para la plataforma 5, presiones, aceleración horizontal y aceleración vertical, respectivamente.

Figura 42

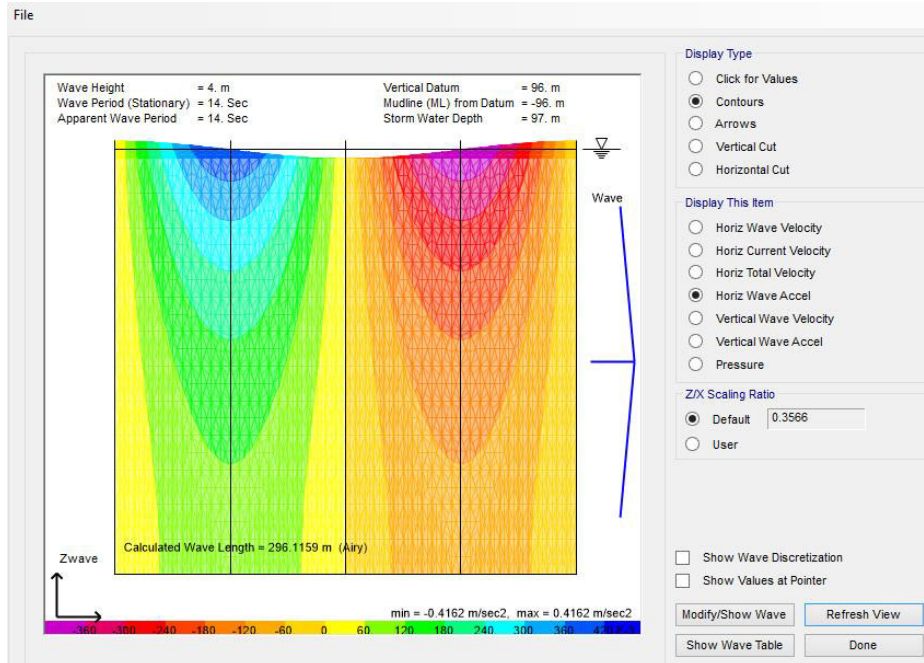
Plataforma 5, variables oceanográficas-Presiones



Fuente: Elaboración propia

Figura 43

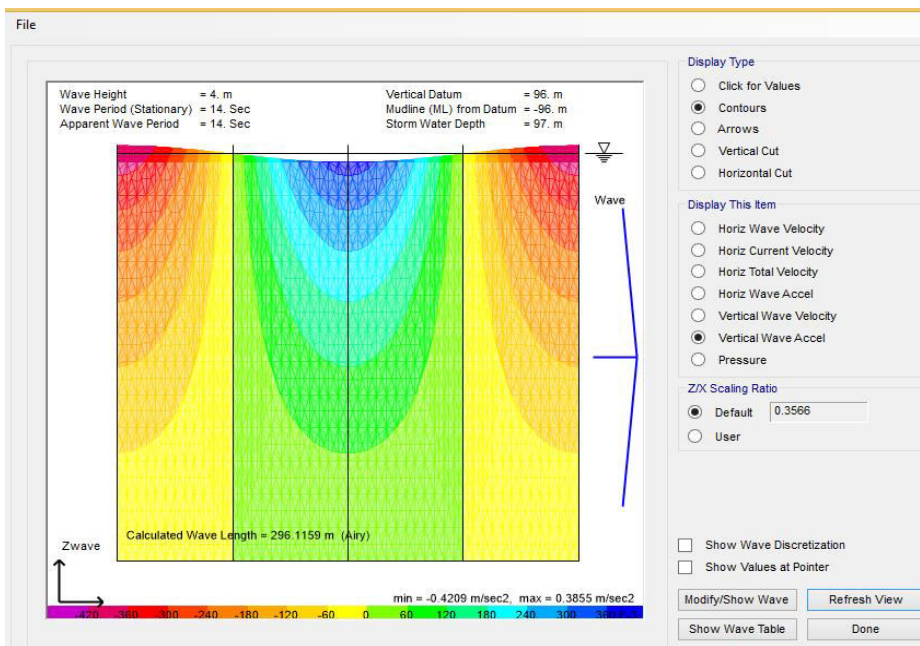
Plataforma 5, variables oceanográficas-aceleración horizontal



Fuente: Elaboración propia

Figura 44

Plataforma 5, variables oceanográficas-aceleración vertical



Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las presiones máximas que se presentan en las plataformas estudiadas para un periodo de 14 seg. y altura de ola 4m se muestra en la Tabla 9, se observa que el incremento de la presión es mayor para profundidades mayores.

Tabla 9

Variación de la presión en las plataformas $T=14$ Ss, $H=4$ m

Tipo Plataforma	Profundidad (m)	presión máxima (kgf/m²)
PLT1	12	14 019,02
PLT2	35	37 246,94
PLT3	50	52 370,67
PLT4	65	68 535,05
PLT5	96	99 957,82

Fuente Propia

4.3 Características de la fuerza hidrodinámicas en el mar del norte

Según API-RP 2A WSD (2007) el tipo de cargas consideradas en el análisis incluye lo siguiente: Carga muerta (CM), Carga viva (CV), Cargas ambientales (W) (viento / ola), Cargas sísmicas (S)

Las cargas muertas incluyen todos los elementos fijos en la estructura de la cubierta de la plataforma. Las cargas vivas se definen como móviles y cargas temporales. Para este estudio a parte de la variación de la profundidad de la plataforma, también se varia las cargas aplicadas, se considera la carga variable como $CM+CV1+CV2$, expresada en Kgf/m², para efectos del estudio paramétrico se convierten estas cargas gravitacionales a carga equivalente puntual, en la tabla 10, se muestra 5 casos de cargas (equivalente) que son aplicadas a los 5 tipo de plataformas.

Tabla 10*Variación de casos de carga CM+CV1+CV2*

CASO	CUBIERTA	ÁREA	CM	CV1	CV2	CM+CV1+CV2
CARGA		Cubierta(m²)	kgf/m²	Kgf/m2	kgf/m²	Toneladas
CASO1	C.superior	744,8800	136	200	346,30	360,00
	C interm	334,451	149	200		
	C.inferior	87,489	0	0		
CASO2	C.superior	744,8800	249	200	346,30	500,00
	C interm	334,451	257	200		
	C.inferior	87,489		0		
CASO 3	C.superior	744,8800	309	600.0	746,30	998,53
	C interm	334,451	305	500		
	C.inferior	87,489		450		
CASO 4	C.superior	744,8800	4030	600	746,3	5000,00
	C interm	334,451	3983	500		
	C.inferior	87,489		450		
CASO 5	C.superior	744,800	8679	600	746,3	10000,00
	C interm	334,451	8578	500		
	C.inferior	87,489		450		

Fuente: Elaboración Propia

Las cargas ambientales (W) (viento/ola) se representan mediante las fuerzas hidrodinámicas sobre elementos circulares, se calculan mediante la fórmula semi-empírica, denominada ecuación de Morison y Chacrabarti (2005), (p. 144). La ecuación propuesta por Morison, ecuación 1, es una suma de fuerzas hidrodinámicas de inercia y de arrastre. La fuerza de arrastre es una función de la velocidad, este término es no lineal, mientras que la fuerza de inercia es función de la aceleración, según ya se indicó en la fórmula (1)

$$f = \rho \cdot CM \cdot \pi \cdot D^2 / 4 \cdot \ddot{u} + 1/2 \rho \cdot CD \cdot |u| \cdot u \quad (1)$$

Donde:

f = fuerza hidrodinámica normal al cilindro.

D = Diámetro exterior del elemento.

CD = Coeficiente de arrastre.

CM = Coeficiente de inercia.

ρ = Densidad del agua.

u = Velocidad de la partícula de agua.

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

Para el análisis aquí se han considerado diferentes alturas y períodos de olas.

Se consideró la altura de diseño de ola igual a la suma de la altura de ola y la altura de marea para el presente estudio, se considera altura de diseño $H=4,70$ m y el período de la ola 14 segundos. Dado que este estudio es paramétrico se consideró estas variables en los rangos siguientes:

Longitud de ola entre 100 m y 300 m.

Profundidad del mar entre 12 m y 100m.

Altura de ola entre valores de 1 – 5 m.

Periodo de ola 10 a 20 segundos.

Relación Altura ola / profundidad H/d , esta entre valores de 0,05 – 0,42

Relación Longitud de ola / profundidad L/d , esta entre valores 3 – 10.

Relación de $D/L < 0,2$, para la validez de la ecuación de Morison.

4.3.1 Evaluación de las plataformas con diferentes características hidrodinámicas.

Se evalúan las fuerzas hidrodinámicas para las diferentes profundidades de las plataformas y para la variación del periodo de ola y altura de ola, los rangos de estas variables anteriormente indicados:

Longitud de ola entre 100 m. y 300 m.

Profundidad del mar entre 12 m. y 100m.

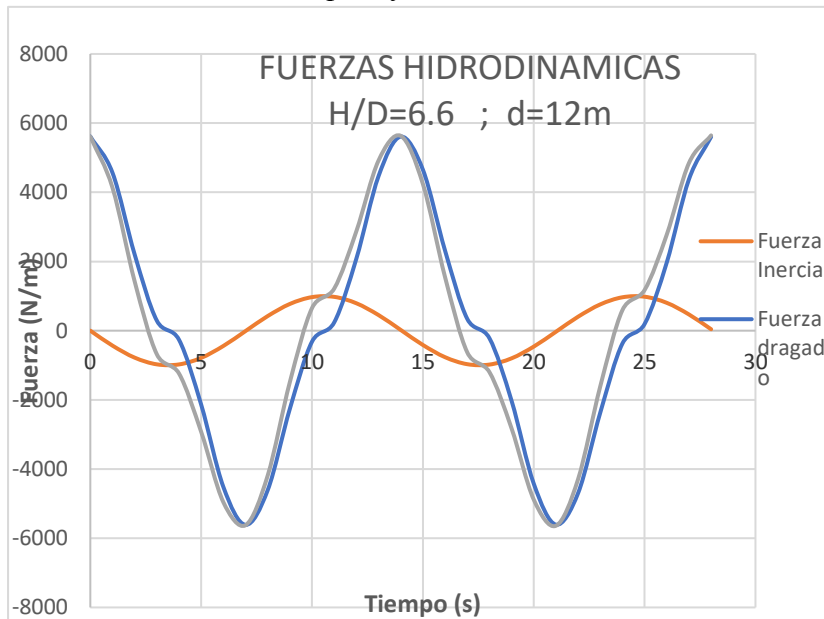
Altura de ola entre valores de 1 – 5 m.

La relación altura de ola-diámetro del cilindro (H/D), permite establecer el régimen dominante de la fuerza hidrodinámica, que se indicó como la suma de la fuerza de inercia y la fuerza de arrastre. Se evalúan para diferentes relaciones H/D , e indicando que fuerza tiene régimen dominante, la fuerza de inercia o la fuerza de arrastre.

En la figura 45 se muestran las fuerzas hidrodinámicas máximas (N/m) para la plataforma 1 de profundidad de 12 m., para caso de carga C3, con un periodo de 14s, altura de ola $H=4$ m. para estas condiciones el diámetro del tubo principal $D=24''$ (0.61m), resulta $H/D=6.6$, se observa que predomina la fuerza de arrastre o dragado.

Figura 45

Fuerzas hidrodinámicas plataforma d=12m

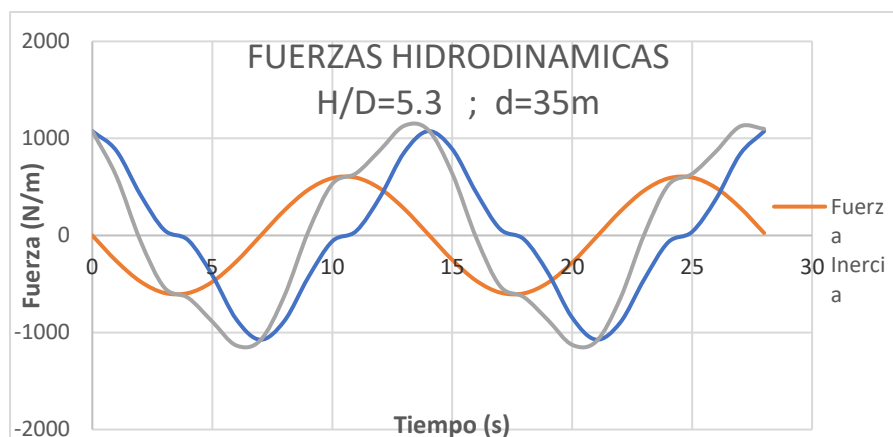


Fuente: Elaboración propia

En la figura 46 se muestran las fuerzas hidrodinámicas máximas (N/m) para la plataforma 2 de profundidad de 35 m., para caso de carga C3, con un periodo de 14s, altura de ola $H=4\text{m}$. para estas condiciones el diámetro del tubo principal $D=30''$ (0.76m), resulta $H/D=5.3$, se observa que la fuerza de dragado predomina.

Figura 46

Fuerzas hidrodinámicas plataforma d=35m

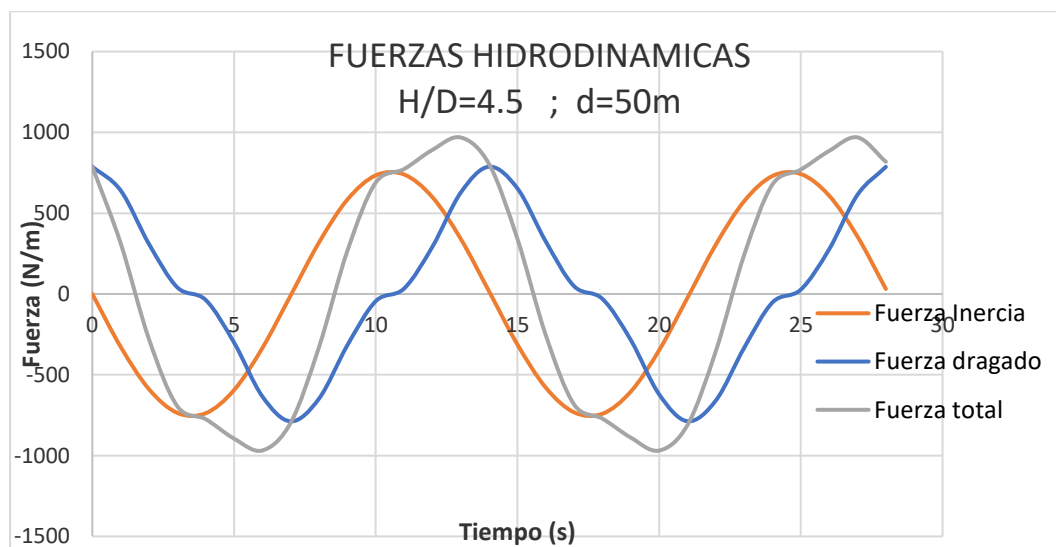


Fuente: Elaboración propia

En la figura 47 se muestran las fuerzas hidrodinámicas máximas (N/m) para la plataforma 3 de profundidad de 50 m., para caso de carga C3, con un periodo de 14s, altura de ola $H=4\text{m}$. para estas condiciones el diámetro del tubo principal $D=35''$ (0.889 m), resulta $H/D=4.5$, se observa que ambas fuerzas tanta fuerza de dragado y fuerza de inercia tienen la misma influencia.

Figura 47

Fuerzas hidrodinámicas plataforma $d=50\text{m}$

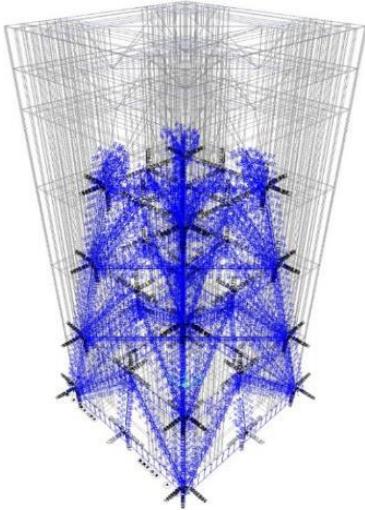


Fuente: Elaboración propia

Estas fuerzas son distribuidas por unidad de longitud, en la estructura se transforman en fuerzas equivalentes nodales (Beltran y Cerrolaza,1989), tal como muestra en la Figura 48.

Figura 48

Fuerzas hidrodinámicas plataforma d=50m

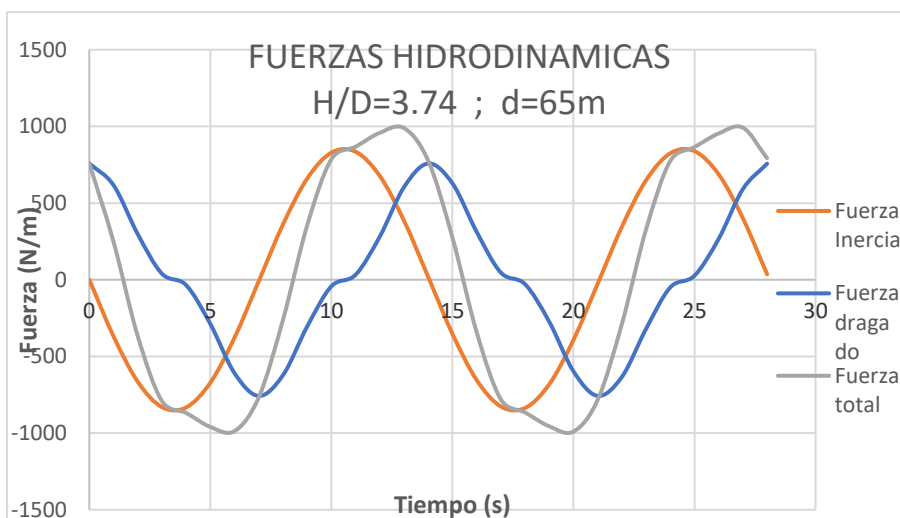


Fuente: elaboración propia

En la Figura 49 se muestran las fuerzas hidrodinámicas máximas (N/m) para la plataforma 4 de profundidad de 65 m., para caso de carga C3, con un periodo de 14s, altura de ola H=4m. para estas condiciones el diámetro del tubo principal D=42" (1.07 m), H/D=3.74, se observa que predomina la fuerza de inercia.

Figura 49

Fuerzas hidrodinámicas plataforma d=65 m

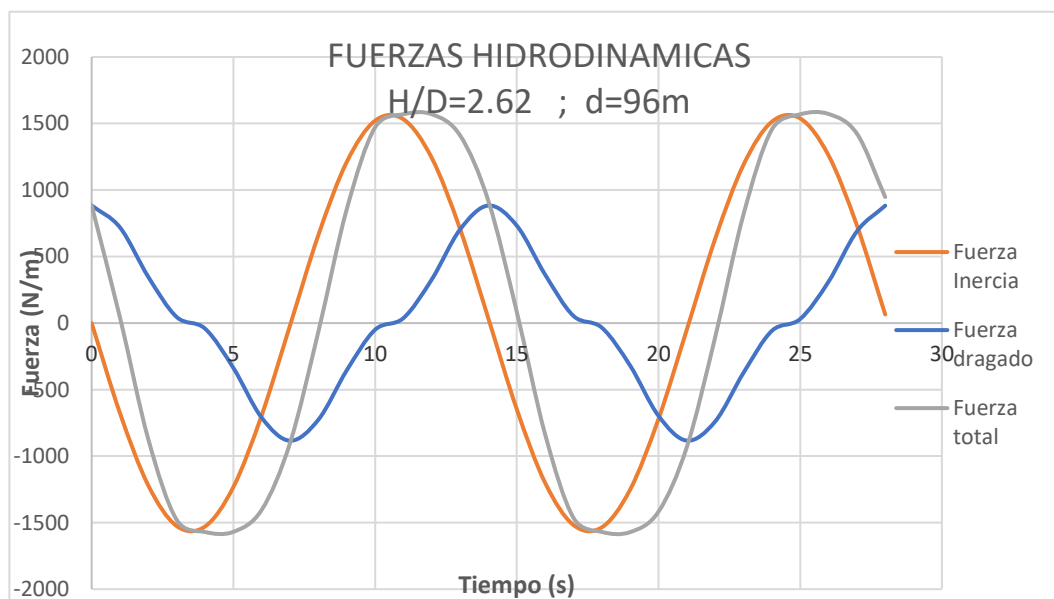


Fuente: Elaboración propia

En la figura 50 se muestran las fuerzas hidrodinámicas máximas (N/m) para la plataforma 5 de profundidad de 96 m., para caso de carga C3, con un periodo de 14s, altura de ola $H=4\text{m}$. para estas condiciones el diámetro del tubo principal $D=60''$ (1.524 m), resulta $H/D=2.62$.

Figura 50

Fuerzas hidrodinámicas plataforma $d=96\text{ m}$



Fuente: Elaboración propia

4.4 Respuesta de las plataformas marinas.

4.4.1 Respuesta por fuerza hidrodinámica.

Se evalúan los desplazamientos laterales en las plataformas por efecto de las fuerzas hidrodinámicas se muestran los resultados, se ha considerado las variables amplitud, periodo de ola, para las plataformas de diferentes profundidades tabla 8 y casos de carga según tabla 10. Para las 5 plataformas se muestran los resultados considerando el desplazamiento en la cubierta superior (desplazamiento máximo), para el caso 3 de carga ($CM+CV1+CV2=1000T$).

Tabla 11*Desplazamientos laterales en plataformas, caso 3 de carga*

Tipo	Cubierta	Desplaz.max.Δw(m)
PLT 1	Cub. Sup.	0,0002
PLT 2	Cub. Sup.	0,0005
PLT 3	Cub. Sup.	0,0008
PLT 4	Cub Sup.	0,0008
PLT 5	Cub Sup.	0,0083

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 11, los desplazamientos no superan el desplazamiento indicado en API 2A-WSD (deben ser inferiores a 2-3 pulgadas(in) (0,05-0,076 m)).

4.4.2 Respuesta por fuerza sísmica.

En el país no se cuenta con una norma sísmica para estructuras inmersas en el mar, por ello se utiliza normas extranjeras como ITEA (2013), API, PEMEX,

Según el Instituto Técnico de la Estructura de Acero-ITEA (2013).

Normalmente, las plataformas petrolíferas en regiones de actividad sísmica se proyectan para dos niveles de intensidad sísmica:

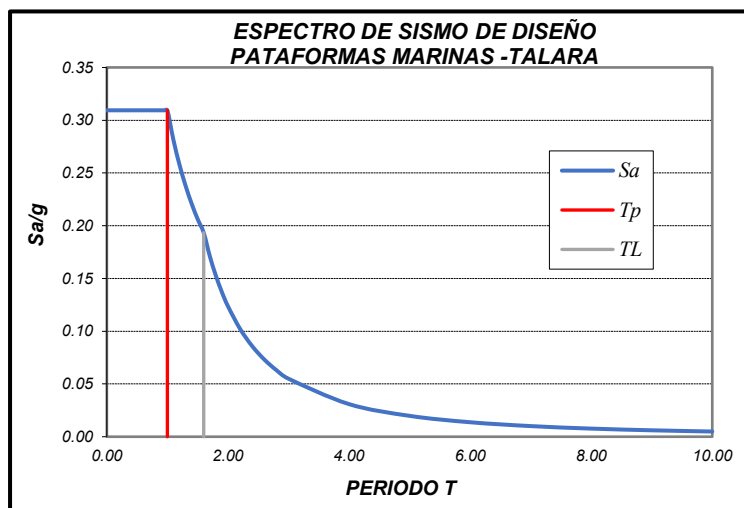
- El sismo de nivel de resistencia y
- El sismo de nivel de ductilidad.

En el caso del diseño para el nivel de resistencia, es posible especificar la carga sísmica bien mediante series de acelerogramas o mediante los espectros de respuesta.

El estudio de la estructura por fuerza sísmica es utilizando el espectro de respuesta, este espectro de respuesta en la zona de Talara es dado en la figura 51.

Figura 51

Espectro de sismo de diseño plataforma marina



Fuente: Elaboración propia

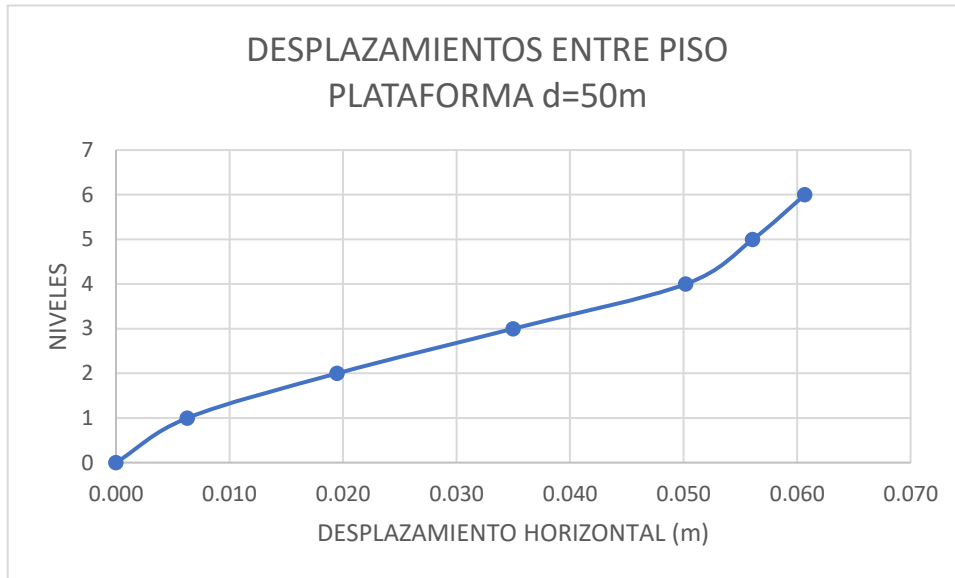
Aplicando este espectro de respuesta se obtuvieron los desplazamientos laterales, se muestran los resultados para la Plataforma 3, profundidad 50m, caso de carga 3 (CM+CV1+CV2=1000T), como se muestra en la tabla 12, figura 52 y 53.

Tabla 12

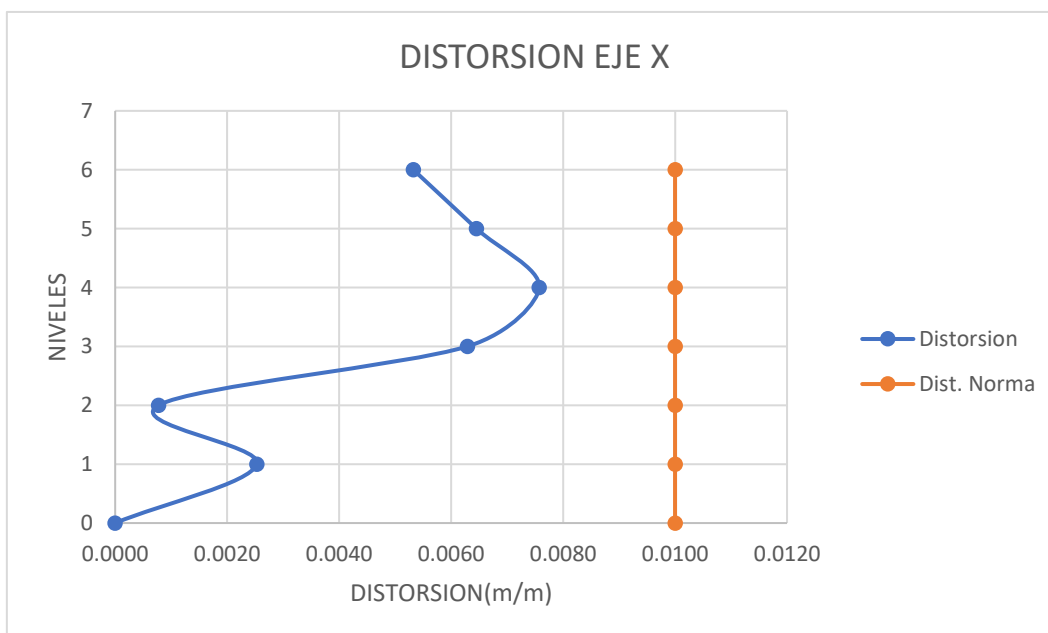
Distorsión(deriva) en Plataforma 3 d=50m, caso de carga 1000T

Nivel	Altura entre piso h (m)	Desplaz.Δs (m)	Desplaz. Relativo	Deriva
Cubierta Sup	5,182	0,061	0,0046	0,0053
Cubierta Int.	5,486	0,056	0,0059	0,0065
Cubierta Inf.	12,04	0,050	0,0152	0,0076
Nivel 3	14,78	0,035	0,0155	0,0063
Nivel 2	17,07	0,020	0,0132	0,0008
Nivel 1	14,93	0,006	0,0063	0,0025

Fuente: Elaboración propia

Figura 52*Desplazamiento de entrepiso plataforma d=50m*

Fuente: Elaboración propia

Figura 53*Distorsión de entrepiso plataforma d=50m*

Fuente: Elaboración propia

Para las 5 plataformas se muestran los resultados considerando el desplazamiento en la cubierta superior, caso de carga 3 (CM+CV1+CV2=1000T) como se muestra en la tabla 13. Se observa que todos los valores son menores a la distorsión permitida, dada por la Norma que es igual a $\Delta/h=0.01$. Se ha evaluado para los otros casos de carga, resultando todos los valores menores a la distorsión permitida.

Tabla 13

Distorsión(deriva) en plataformas, caso de carga 1000T

Modelo	Cubierta	Altura entre piso	Desplaz.max. Δs (m)	Distorsion
PLT1	Cub.Sup.	5,182	0,0198	0,004747202
	Cub.Interm		0,0157	
PLT2	Cub.Sup.	5,182	0,0345	0,003589348
	Cub.Interm		0,0314	
PLT3	Cub.Sup.	5,82	0,0607	0,004742268
	Cub.Interm		0,0561	
PLT4	Cub.Sup.	5,82	0,0768	0,008556701
	Cub.Interm		0,0685	
PLT5	Cub.Sup.	5,82	0,0689	0,004845361
	Cub.Interm		0,0642	

Fuente: Elaboración propia

4.5 Diseño y evaluación de plataformas marinas en Talara

Se obtuvo las dimensiones de todos los elementos para las diferentes profundidades de plataforma según tabla 8 y diferentes casos de cargas tabla 10. En la Tabla 14, para el caso de carga 3, se muestran las dimensiones del tubo principal, el diámetro denominado como D_p

(pulgadas), el espesor t (pulgadas), se tiene los parámetros D/t , d/HT , donde d es la profundidad del mar, HT la altura total de la plataforma, D_p diámetro del elemento principal(columna) y la relación $D/t_{critica}$ es menor a la relación $250/(d^{1/3})$, con estos parámetros se obtienen tablas para el predimensionamiento o verificación de plataformas. Se observa que en todos los casos la relación D/t es menor a: $D/t < 250/(d^{1/3})$

Tabla 14

Diámetros en elementos principales, caso de carga 3

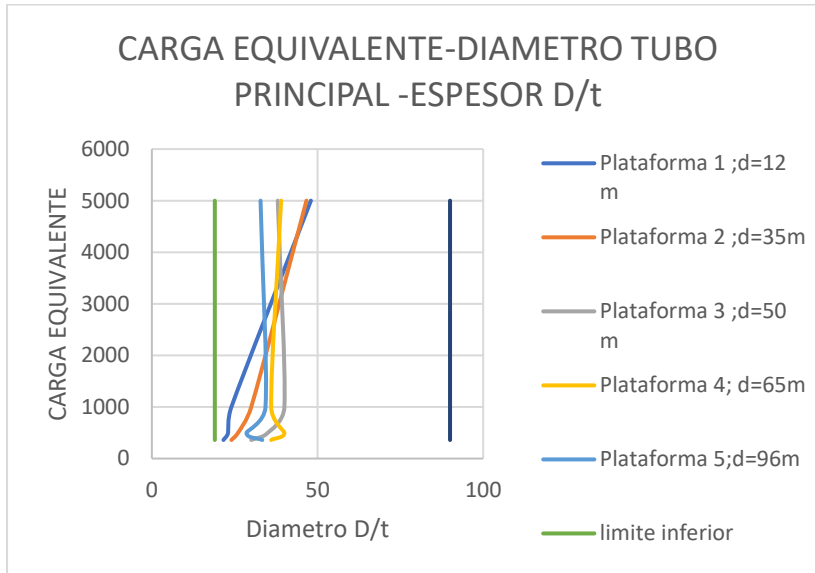
Modelo	Profundidad d(m)	HT	d/HT	Diámet. D_p (pulg)	Espesor t (pulg)	D/t	D/t < 250/(d^{1/3}) d en pies
PLT1	12	27.74	.43	24.00	1.00	24.00	73.49
PLT2	35	53.67	.65	28.00	1.00	28.00	51.43
PLT3	50	69.49	.72	30.00	1.00	30.00	45.67
PLT4	65	83.67	.78	42.00	1.25	33.60	41.84
PLT5	96	113.6	.84	60.00	1.75	34.29	36.74

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 54 se muestra la relación D/t para el elemento principal está en el rango de D/t entre 19-90, Chacrabarti (2005). Se observa que todos los valores D/t evaluados, para las diferentes plataformas offshore están dentro de estos límites, lo que garantiza un buen comportamiento estructural evitando pandeo local.

Figura 54

Límites del parámetro D/t para diferentes profundidades y cargas

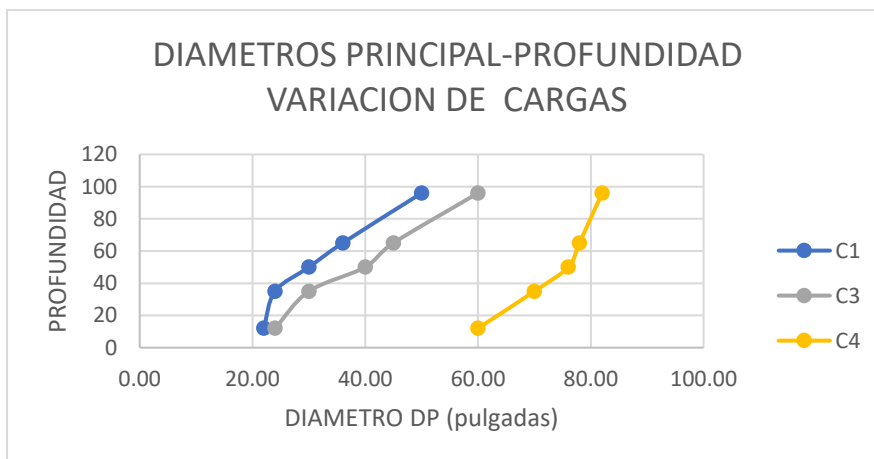


Fuente: Elaboración propia

En la figura 55 se grafica los resultados de diámetros para el tubo principal D_p para diferentes profundidades de plataformas y casos de carga, en la ordenada se tienen la profundidad de la plataforma, y en las abscisas el diámetro del elemento principal D_p . C1-C3-C4 son los casos de carga.

Figura 55

Diseño diámetro elemento principal-diferentes profundidad y carga

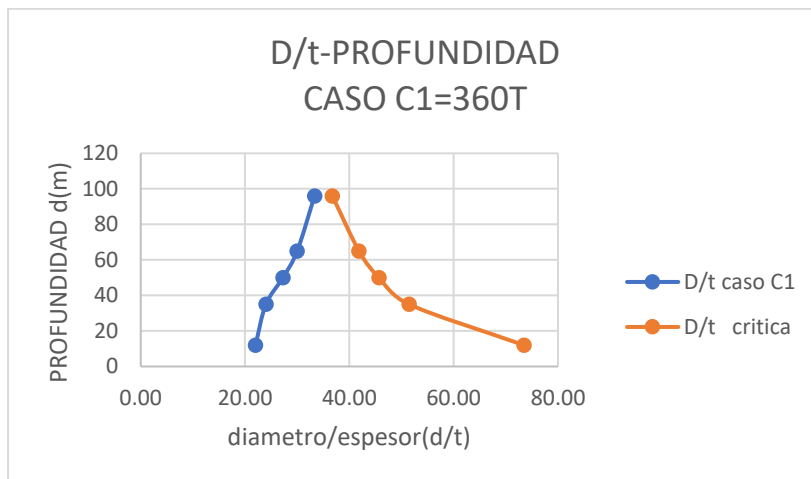


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 56, se muestra el caso de carga $C1=360$ T, para diferentes profundidades y relación Dp/t , se puede observar que son menores al D/t crítica

Figura 56

Parámetro de diseño: Relación D/t en función de profundidad caso carga $1=360T$

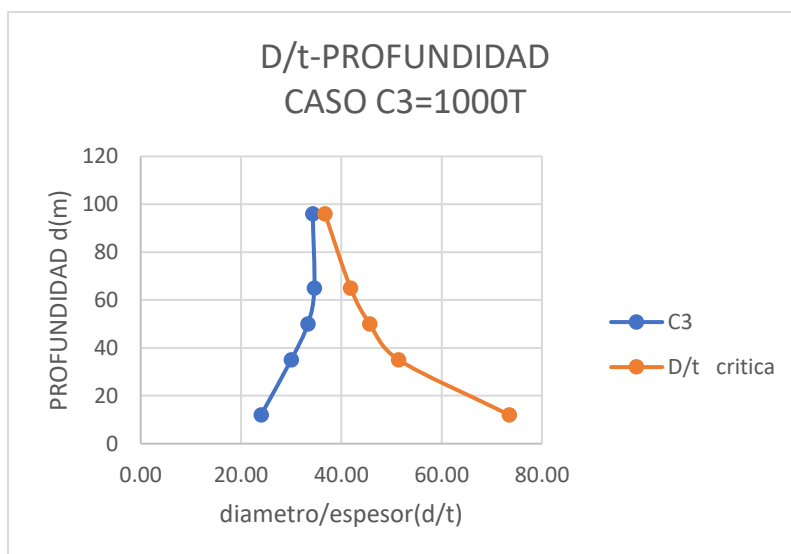


Fuente: Elaboración propia

En la figura 57, se muestra el caso de carga $C3=1000$ T, para diferentes profundidades y relación Dp/t , se puede observar que son menores al D/t crítica

Figura 57

Parámetro de diseño: Relación D/t en función de profundidad caso carga $3=1000T$

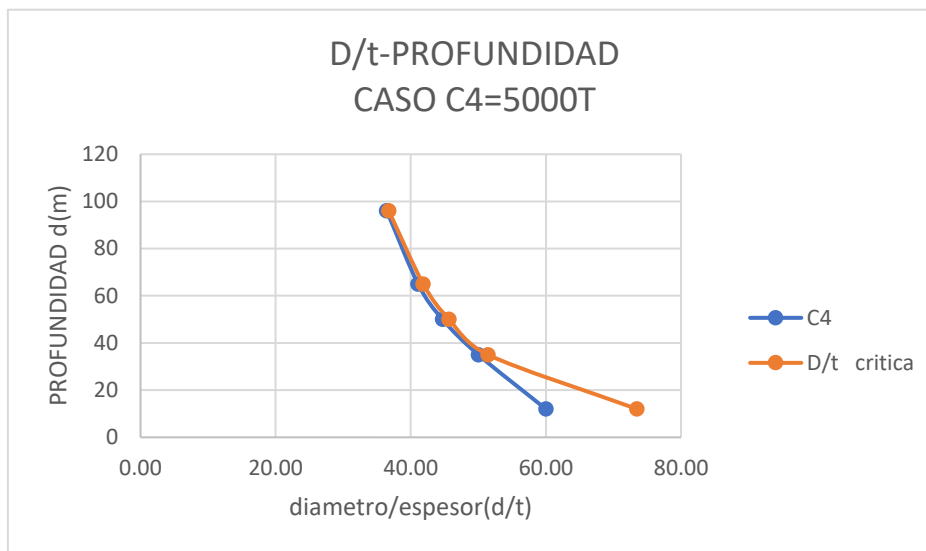


Fuente: Elaboración propia

En la figura 58, se muestra el caso de carga $C4=5000\text{ T}$, para diferentes profundidades y relación Dp/t , se puede observar que son menores al D/t_{critica}

Figura 58

Parámetro de diseño: Relación D/t en función de profundidad caso carga $4=5000T$



Fuente: Elaboración propia

4.6 Propuesta de parámetros de diseño en plataformas marinas tipo Jacket

La propuesta de parámetros de diseño en plataformas marinas permitirá la verificación de estructuras existentes o para predimensionar estructuras nuevas.

Para la propuesta de parámetros se evaluaron cinco plataformas marinas fijas. Estas estructuras fueron extraídas de plataformas existentes en el mar del norte (plataforma 1 y plataforma 3) las otras estructuras tienen características que modelan plataformas para otras profundidades y características oceanográficas.

Al evaluar estas plataformas se logró obtener tablas y gráficos paramétricos que servirán para:

- a) Predimensionar estructuras a proyectar (nueva), conociendo las cargas equivalentes de una plataforma y la profundidad se determina el diámetro de las columnas principales de la plataforma.
- b) Verificación del análisis estructural tanto respuesta como las dimensiones de los elementos de estructurales, conociendo las dimensiones de la columna principal (relación D/t), se puede obtener la carga que puede soportar.
- c) Estimación de las respuestas dinámicas de las estructuras sometidas a la acción del oleaje y sismo.

4.6.1 Parámetros operacionales

Se consideran dentro de este campo la función de la plataforma, localización, orientación respecto al norte, dimensiones y pisos de la plataforma, numero de pozos, diámetro de pilotes, nivel de exposición, por tanto, se tendrá en cuenta los siguiente:

- Definir la función de la plataforma si es de exploración o producción.
- Ubicación de la plataforma indicando la posición de esta.
- Orientación con respecto al norte.
- Dimensiones y pisos de la plataforma

En estos parámetros operacionales la función de plataforma es importante conocer cuál será esta, si es de exploración o de producción.

En función de esto se determina los pesos, en la figura 59, se muestra las cargas que se presentan en este estudio caso de carga C4, se observa una carga total de 5065.33 Tn.

Figura 59

Cargas en Plataforma de producción caso CASO 4. (5000 Tn)

CARGAS EN PLATAFORMA DE PRODUCCION			
TIPO DE CARGA	DESCRIPCION CARGA	PESO Tn	
CM1	CMUERTA	GENERADORES T TABLERO MANDO	12.00
		SISTEMA DE CIRCULACION ENF BOMBAS	6.73
		PLANTAS DE DESTILACION	4.51
		SISTEMA CONTRAINCENDIO	7.49
		PESO DE LA ESTRUCTURA	345.60
CM2	C MUERTA	HABITACIONES	102.40
		2 COMPRESORES DE GAS	158.70
		LINEAS DE FLUJO	2.32
L1	C VIVA	TANQUE ALMACENAMIENTO DE PETROLE	4134.00
		BOMBAS DE ACEITE	10.63
		TANQUE AGUA DULCE	24.59
		TANQUE DE AGUAS RESIDUALES	241.30
L2	C VIVA	CARGA POR LEVANTAMIENTO	12.80
		PESO DEL ELICOPTERO	2.26
		5065.33 Tn	

Fuente: Elaboración propia

Para efectos del diseño paramétrico es necesario realizar el metrado de cargas según su función y luego tener una carga equivalente puntual, que será utilizada en los parámetros estructurales para lograr los objetivos planteados. En la tabla 10 se mostró las cargas equivalentes que van desde 360 toneladas a 10,000 toneladas

4.6.2 Parámetros medioambientales

Son los parámetros relacionados con el oleaje, nivel medio del mar, elevación cresta de ola, elevación valle de la ola, marea baja, marea alta astronómica, nivel del mar en calma, nivel del mar en marejada, marea asociada a tormentas, periodo de ola, dirección de ola, por tanto, se tendrá en cuenta los siguiente:

Parámetros relacionados con la corriente marina

Parámetros relacionados con el crecimiento marino

Parámetros relacionados con probabilidad de subsidencia.

Parámetros relacionados con vientos

Parámetros relacionados con factores de cálculo hidrodinámico (periodo de ola, Teorías de ola)

En la tabla 15 se presentan las características hidrodinámicas para la evaluación de la fuerza hidrodinámica, según la ecuación de Morison, ecuación (1)

Tabla 15

Características Hidrodinámica

Longitud de ola	Entre 100m y 300m
Profundidad del mar.	Entre 12m y 100m
Altura de ola	Entre 1-4m

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16 se presentan los parámetros medioambientales para la formulación y restricción de la ecuación de Morison.

Tabla 16

Parámetros medioambientales

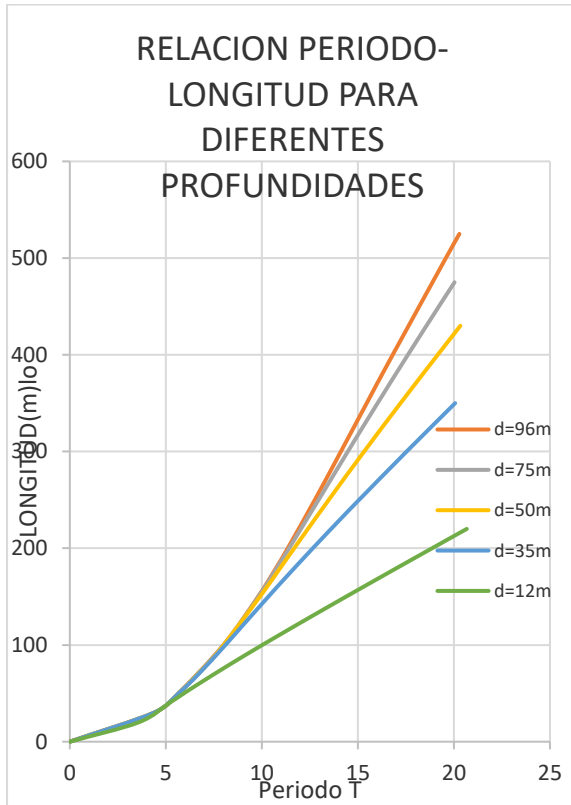
Relación Altura ola /profundidad H/d ,	Entre 0.05-0.01
Relación Longitud de ola / profundidad L/d	Entre 3-5
Relación de $D/L < 0,2$,	Valida uso Ecuación de Morison

Fuente: Elaboración propia

En la figura 60 se muestra la relación periodo de ola longitud de ola para profundidades menores a 100 metros.

Figura 60

Relación periodo de ola - longitud de ola para profundidades menores a 100 metros.



Fuente: Elaboración propia

4.6.3 Parámetros Estructurales.

Luego del análisis realizado en las plataformas estudiadas se indican los siguientes parámetros que se deben emplear para el análisis y predimensionamiento de las plataformas marinas

- a) Esfuerzo de fluencia del acero σ_y
- b) Esfuerzo de rotura del acero σ_u
- c) Relación D_p/t_p
- d) Relación D_s/t_s
- e) Carga Equivalente

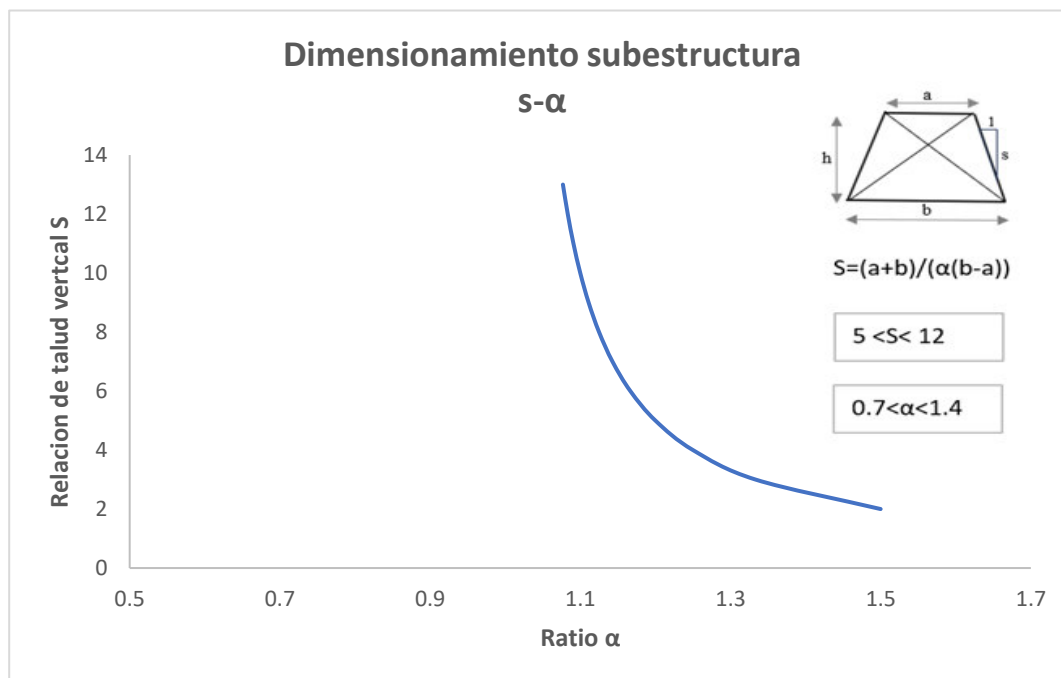
Estos parámetros están relacionados con el tipo de estructura incluyendo dimensiones preliminares y características de los elementos, así como el material a utilizar (acero) y el comportamiento por efecto de fuerzas hidrodinámicas y sísmicas.

El material a usar es ASTM 139 Grado B, $F_y=36$ Ksi. para los elementos estructurales y ASTM A500 Grado B, $F_y=43$ Ksi..para la zona de salpicadura

Configuración de la estructura Jacket. Hay una amplia variedad de formas en cuanto a la disposición de las barras diagonales y horizontales que conectan las barras verticales principales, cada una de ellas con sus ventajas e inconvenientes (Chacrabarti, 2005). En la figura 61 se muestra como realizar el dimensionamiento de la plataforma marina, la pendiente de los tubos principales se determina con la variable s , que va de 5 a 12, y la ratio α está entre 0.7 y 1.4

Figura 61

Configuración estructura plataforma marina.



Fuente: Elaboración propia.

- La altura total de la estructura debe ser mayor que la altura máxima de la cresta de la ola que se pueda formar sobre el nivel de aguas tranquilas, para evitar que el oleaje afecte a la cubierta.

- Elección barras verticales principales. El diámetro interior debe ser 3-4 pulgadas (in) (0,076 – 0,102 m) mayor que el diámetro exterior del pilote en caso de que el pilote se aloje en el interior de la barra vertical. El espesor debe oscilar entre 0,5-2,5 in (0,013-0,064 m), dado que un espesor menor conlleva problemas de corrosión y uno mayor es complejo de fabricar API (2007).

Elegir un diámetro tal que la relación de esbeltez $kL/r \leq 80$, donde:

k: coeficiente de longitud efectiva por pandeo, que toma el valor 0,8.

L: longitud

r: radio de giro

El radio de giro para tubos de pared delgada se considera:

$r = 0,35D$, siendo D el diámetro de la barra.

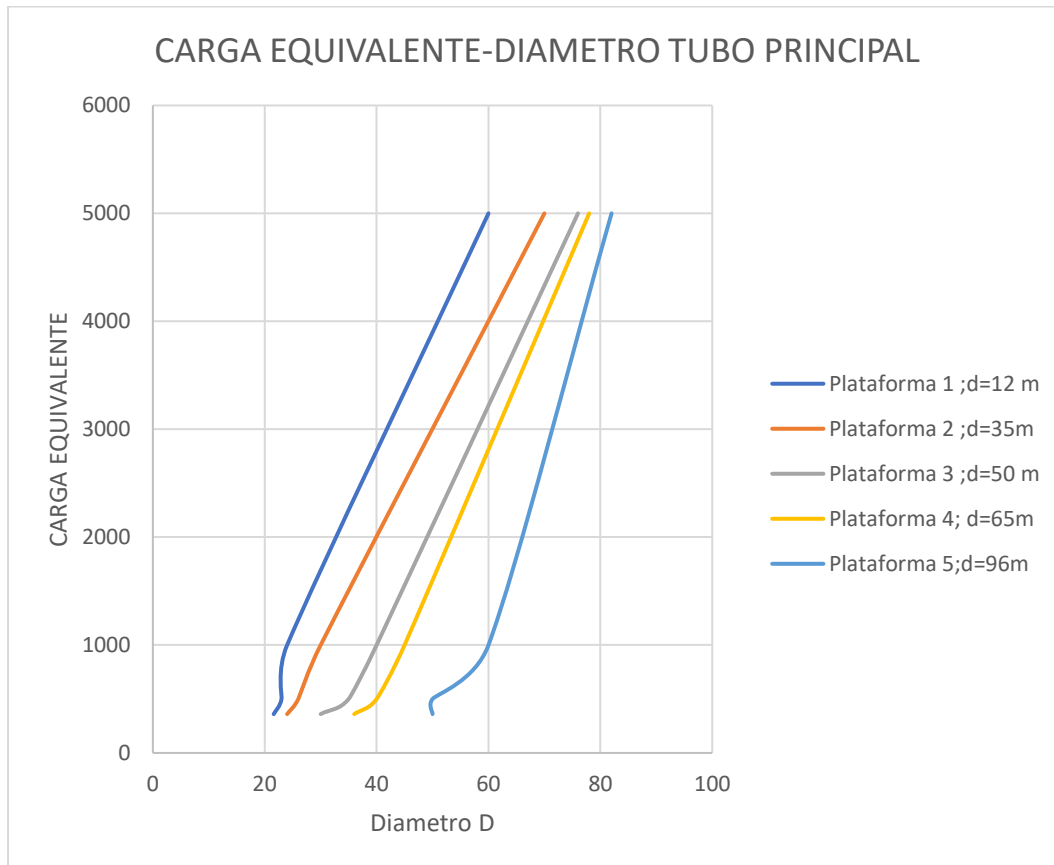
- Se toma el espesor de pared en función del diámetro exterior nunca menor de 0,5 in (0,013m).

El predimensionamiento de las barras verticales principales se muestra en la figura 61, para cualquier carga equivalente y profundidad del mar de la plataforma a predimensionar se obtiene el diámetro de la barra vertical principal.

El análisis de la barra verticales principales se puede realizar en la misma figura 62, conociendo la dimensión del diámetro se ve que carga equivalente puede soportar.

Figura 62

Relación Diámetro principal para diferentes cargas y profundidades.



Nota: La figura muestra la relación del diámetro del elemento

Principal para diferentes cargas y profundidades

- Para evitar la aparición de problemas hidrostáticos cumplir la siguiente restricción:

$$\frac{D}{t} < \frac{250}{(h_w)^{\frac{1}{3}}}$$

Donde:

D es el diámetro del tubo

t es el espesor del tubo

hw es la profundidad de agua, en pies en este estudio hw=d.

-La sección tubular circular se clasifica en función de su relación espesor-diámetro según:

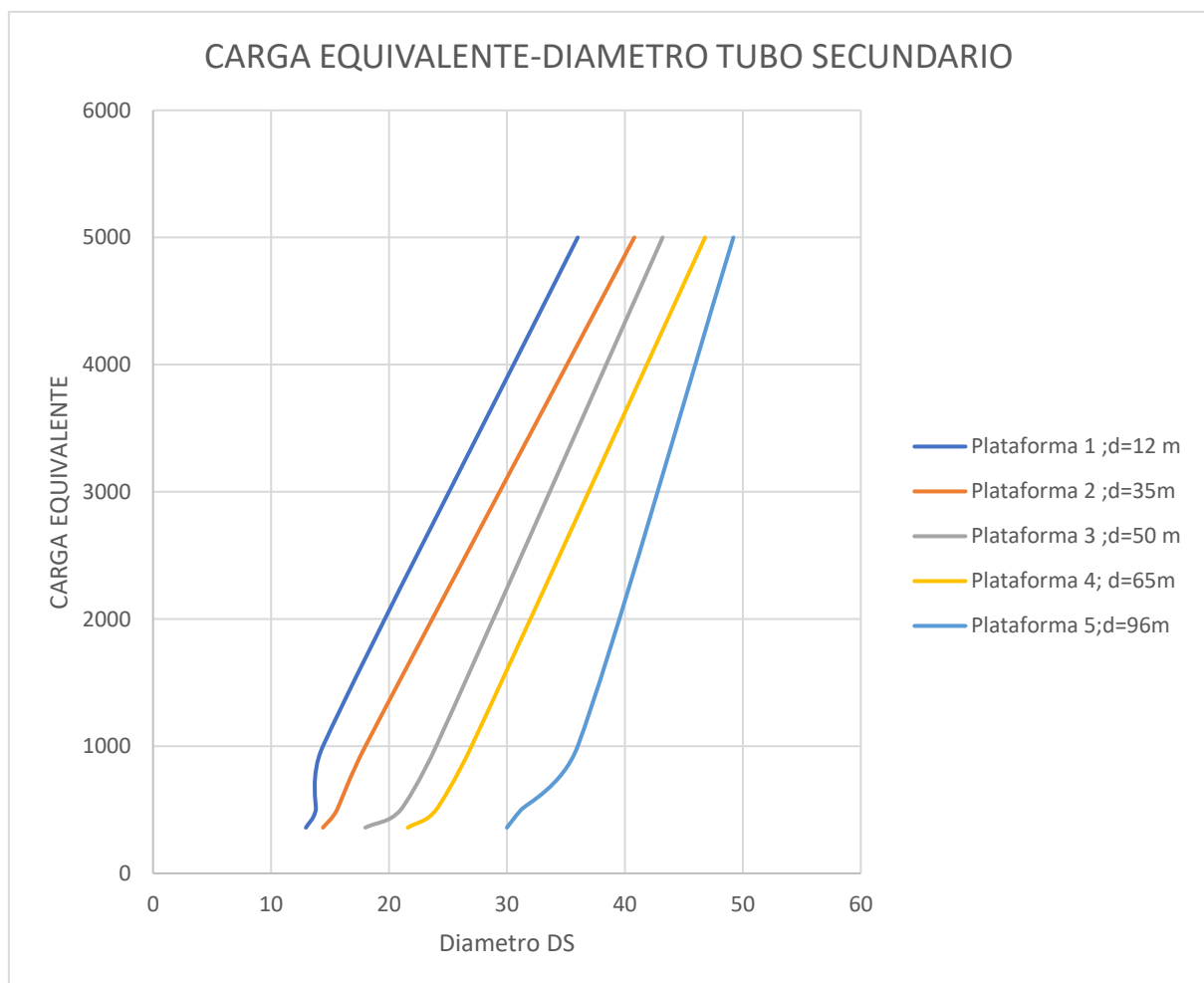
$D/t \leq 3\ 300/F_y \rightarrow$ secciones compactas y no compactas F_y en Ksi

$D/t \leq 13\ 000/F_y \rightarrow$ secciones esbeltas (límite sólo en compresión). F_y en MPa

El predimensionamiento de las barras secundarias diagonales y horizontales se muestra en la figura 63, para cualquier carga equivalente y profundidad del mar de la plataforma a predimensionar se obtienen estos diámetros.

Figura 63

Relación Diámetro tubos secundario para diferentes cargas y profundidades.



Fuente: Elaboración propia

Se debe verificar lo siguiente en la Estructura:

- Comprobación del período natural de vibración. Una vez obtenida la frecuencia natural mínima global de la estructura, a partir de su inversa, se obtiene el período natural de vibración (T_n).

Para las plataformas evaluadas se determinaron los periodos naturales que se muestran en la Tabla 17, la configuración estructural se refiere a lo especificado en la Figura 8 y Tabla 2.

Tabla 17

Periodos naturales de las plataformas

Tipo de plataforma	Periodo (s)	Configuración estructural
T1 (d=12m)	0.4806	Tipo2
T1 (d=12m)	0.625	Tipo 4
T1 (d=12m)	0.825	Tipo 2
T1 (d=12m)	0.911	Tipo 5
T1 (d=12m)	0.800	Tipo 5

Fuente: Elaboración Propia

Dicho período debe alejarse del período promedio del espectro de oleaje y evitar una amplificación de las cargas dinámicas.

Según la tabla 17 los periodos naturales de las estructuras son menores de 2 segundos, que son distantes de los valores del periodo de ola, que está en el rango de 12-16 segundos tal como se mostró en la Figura 13. Mediante el parámetro $1/B_o = \text{Periodo de ola}(T) / \text{Periodo estructura (Test)}$, para los casos estudiados para periodos de ola entre 12 y 16 s. y periodos de

la estructura evaluados, dan valores de $1/B_0$ entre 15 y 33.3, que están alejados de la relación $1/B_0=1$, con lo que se descarta amplificación dinámica o resonancia.

Según Chacrabarti (2005) en aguas someras una estructura Jacket posee un bajo periodo de vibración del orden de 4 segundos, en una profundidad inferior a 800 pies (ft) (243,84 m), que está alejado del período promedio de un espectro de oleaje en condiciones extremas que suele estar en el rango 12-14 s.

- Comprobación de deflexiones. Los desplazamientos máximos horizontales de la estructura deben ser inferiores a 2-3 pulgadas(in) (0,05-0,076 m).

- Comprobación de resistencia y estabilidad. Según la especificación de American Institute of Steel Construction (AISC) proporciona el método de Diseño con factores de carga y resistencia (Load and Resistance Factor design (LRFD), este método realiza la comprobación fundamental de resistencia y estabilidad para elementos estructurales de sección uniforme sometidos a esfuerzos axial y de flexión, mediante las ecuaciones de interacción formuladas.

4.6.4 Estudio paramétrico respuesta dinámica.

Para simplificar el estudio, pero no obstante se obtiene resultados comparativos, se analiza un sistema de un grado de libertad, realizando un estudio paramétrico con la finalidad de investigar la influencia de las siguientes variables:

W, T frecuencia y periodo de ola

W₀ T₀ frecuencia y periodo de la estructura.

M_A masa adicional

D diámetro del elemento estructural.

H altura de ola

Estas variables están contenidas en los siguientes parámetros H/D, B₀ donde:

H/D relación altura de ola y diámetro del elemento estructural

$Bo = T_o/T$ relación del periodo de la estructura y el periodo de ola

Luego la respuesta de la plataforma marina es estudiada para diferentes H/D como para diferentes periodos de ola.

No obstante, esta tesis evalúa hasta profundidades de 100 metros, en este estudio paramétrico podemos visualizar para mayores profundidades y mayor periodo natural de la estructura, con la finalidad de validar los resultados obtenidos en este trabajo.

Se estudia dos plataformas de profundidad de 160 metros y 280 metros, periodos naturales de 3 segundos y 8 segundos respectivamente, ambas estructuras fueron evaluadas para alturas de olas de 2m., 5m. y 10m. El periodo de ola se varió para cada torre en 10 segundos, 15 segundos y 20 segundos, estos periodos de olas tomados engloban a los casos que se encuentran en la realidad, por ejemplo, el promedio del periodo del del norte del Perú es de 14 segundos,

a) Caso 1

Se analizó un oscilador de 1GDL con un periodo natural de la estructura 3 segundos. altura 183 metros, profundidad 160 metros.

Las variables y coeficientes utilizados según la ecuación 1, y parámetros según tablas 3 y 4, el periodo de ola varía entre 10 y 20 segundos, luego Bo está en el rango: $0.15 < Bo < 0.30$. La altura adimensional H/D varía entre 2 y 10. El coeficiente de amortiguamiento es asumido igual a 5% del crítico.

a) Caso 2

Se analizó un oscilador de 1GDL con un periodo natural de la estructura 8 segundos. profundidad 280 metros.

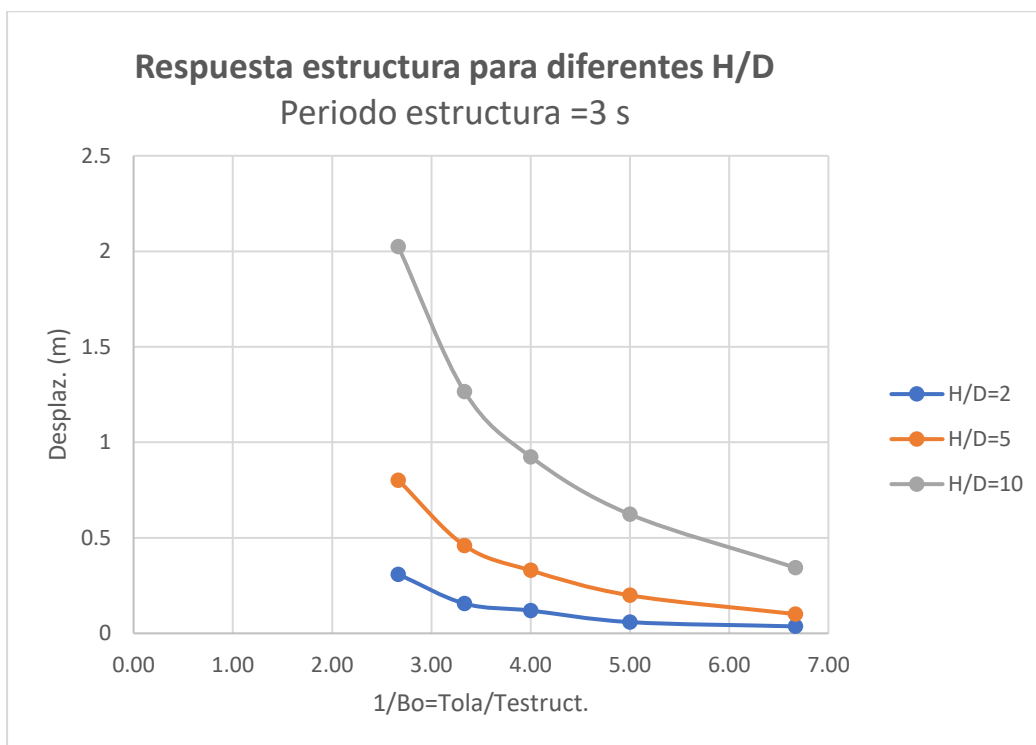
Las variables y coeficientes utilizados según la ecuación 1, y parámetros según tablas 3 y 4, el periodo de ola varía entre 8 y 20 segundos, luego Bo está en el rango: $0.4 < Bo < 1$.

La altura adimensional H/D varía entre 2 y 15. El coeficiente de amortiguamiento es asumido igual a 5% del crítico.

En la figura 64, se observa que para valores bajos de $1/B_0$ en el rango de 6,7 a 4, la respuesta se incrementa suavemente para cada valor de H/D . Para valores de $1/B_0$ mayores de 4, se observa que para cada relación de H/D el desplazamiento crece rápidamente hasta valores de B_0 iguales a la unidad (resonancia) según figura 64.

Figura 64

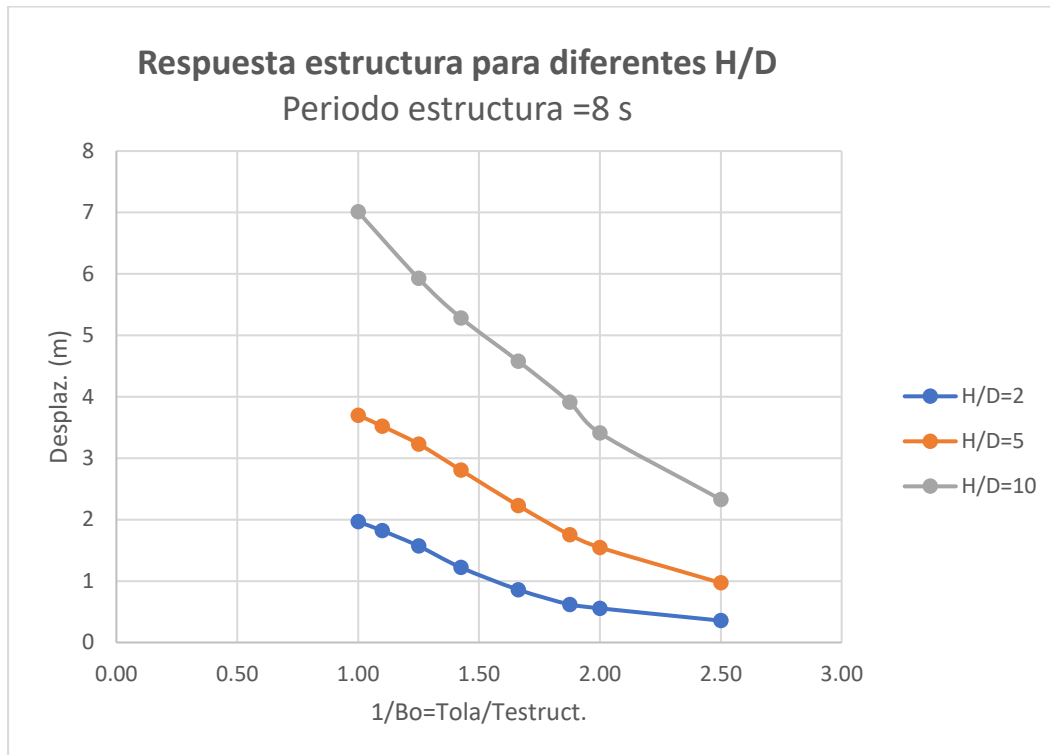
Respuesta estructura por fuerza hidrodinámica diferente H/D y periodo 3 s.



Fuente: Elaboración propia

Figura 65

Respuesta estructura por fuerza hidrodinámica. diferente H/D y periodo 8 s.



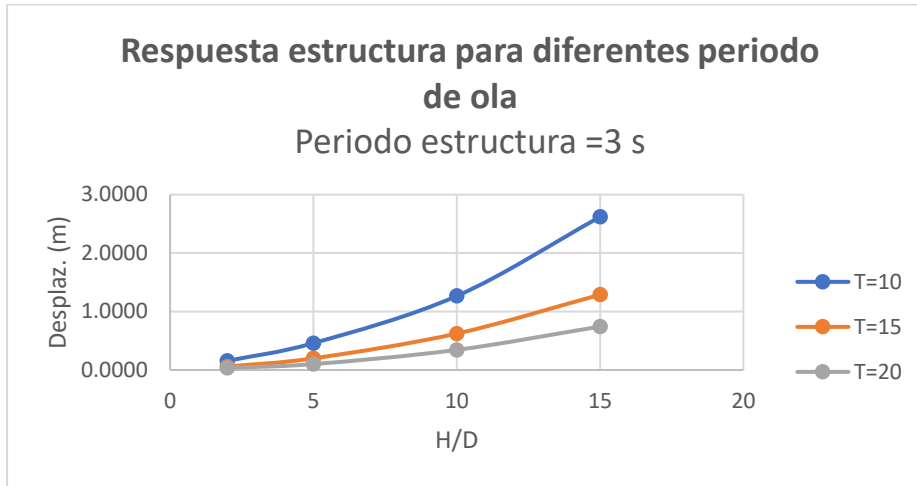
Fuente: Elaboración propia

Las figuras 66 y 67 son similares a las figuras 64 y 65, excepto que la relación H/D es usada como accisa, olas de 3 diferentes periodos son estudiados para diferentes valores de la relación de H/D.

Los resultados muestran que los desplazamientos varían rápidamente para diferentes alturas de olas en el caso de resonancia ($T_o=8$ s.) figura 66

Figura 66

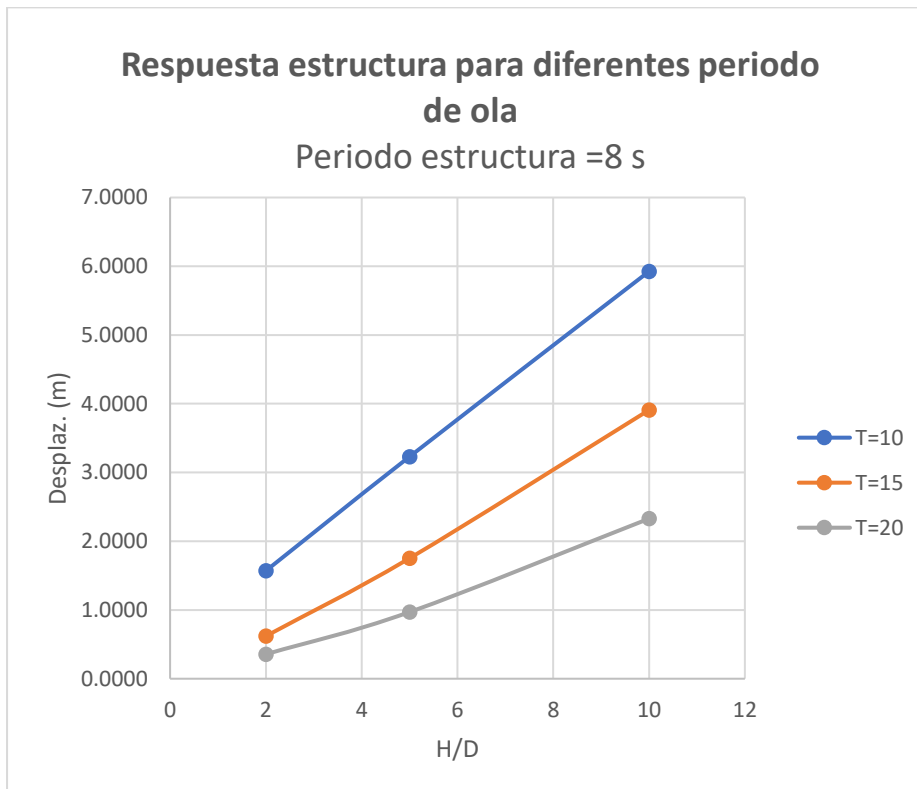
Respuesta estructura por fuerza hidrodinámica, diferente periodo de ola



Fuente: Elaboración propia

Figura 67

Respuesta estructura por fuerza hidrodinámica. diferente periodo de ola.



Fuente: Elaboración Propia

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Discusión de características oceanográficas

De acuerdo con los resultados se identifica las tres variables principales para las características del mar, altura de ola, periodo y amplitud, se identificó la causa (fuerza hidrodinámica) y el efecto (respuesta de la estructura). Se evaluaron la velocidad horizontal, aceleración horizontal, velocidad y aceleración verticales. Los resultados según figura 19 permiten determinar los valores de la longitud de ola para cualquier valor de periodo y profundidad de plataforma validadas por los valores proporcionados por Chacrabarti (2005).

Estos resultados permiten verificar que la teoría lineal de olas es válida para pequeñas relaciones de H/d como se observa en la tabla 7, H/d se evalúa entre 0.01 -0.6, concuerda con los valores dados por API (2007) para la validez de la teoría de olas.

La profundidad de las plataformas tiene una gran influencia en todas las variables, según Chacrabarti (2005) el límite para el uso de la teoría lineal de olas y uso de la teoría de segundo orden es que la relación H/L , este en el orden de 0.1, la relación H/L en el presente estudio es menor a este valor por lo que se valida el uso de la teoría lineal de olas.

5.2. Discusión de características hidrodinámicas

La fuerza hidrodinámica se determina con la ecuación de Morison, esta fuerza está en función de la velocidad y aceleración de las partículas del mar, se determinan las velocidades y aceleraciones horizontales y verticales respectivamente para cada plataforma.

En todos los casos evaluados para diferentes profundidades(d) entre 12 a 100 metros estando dentro de aguas someras según Quispe (2016) las actividades de perforación de pozos exploratorios en mar abierto se clasifican según la profundidad, se dice aguas someras a aquellas cuya profundidad es menor a 500 metros, aguas profundas entre 500 y 1500 metros y aguas ultra profundas a profundidades mayores a 2000 metros.

Con relación a las longitudes de ola (L) y diámetro del cilindro principal (D), se observa que los valores D/L son menores a 0.2 por lo que es válida la aplicación de la ecuación de Morison y API (2007).

La relación altura de ola/diámetro de ola (H/D), es un indicador del régimen dominante de la fuerza hidrodinámica, los resultados obtenidos en este trabajo son los mismos que obtuvo Bea y Lai (1978), tal como se mostraron en la figura 6 donde para valores de H/D igual a 4.5 la influencia es la misma tanto de la fuerza de arrastre como de la fuerza de inercia.

Según Jonkman y Butterfield (2008) indican que las fuerzas de flotabilidad e inercial de Morison por unidad de longitud dependen del cuadrado del diámetro del miembro, por lo que tener una longitud demasiado larga entre los miembros puede causar un gran error en la fuerza total, los resultados al evaluar la fuerza Hidrodinámica confirman esta indicación.

Según Chacrabarti (2005) en aguas someras una estructura Jacket posee un bajo periodo de vibración del orden de 4 segundos, en una profundidad inferior a 800 pies (ft) (243,84 m), que está alejado del período promedio de un espectro de oleaje en condiciones extremas que suele estar en el rango 12-14 s, que corrobora lo obtenido en este estudio,

5.3. Discusión de la respuesta no lineal de la estructura por fuerzas hidrodinámicas y respuesta de la estructura por fuerza sísmica

Según el Instituto Técnico de la Estructura de Acero-ITEA (2013), en áreas de actividad sísmica baja, el diseño de plataformas sería controlado por el efecto de las fuerzas hidrodinámicas. Para zonas donde la aceleración del terreno es menor que 0.05g, un análisis sísmico no es necesario. Las plataformas fueron evaluadas para aceleración del suelo mayores a 0.15 g, todos los requerimientos sísmicos de resistencia de la sección 2.3.6c API (2007). Estos resultados permiten afirmar que la fuerza sísmica es predominante con relación a la fuerza hidrodinámica en plataformas marinas en el Perú, Para el caso de la respuesta por fuerzas

sísmicas dado que el Perú está en una zona sísmica, se evaluó la respuesta sísmica y de igual forma se obtuvieron para las cinco plataformas y con todos los casos de carga, las distorsiones son menores a la distorsión permitida por API y la Norma E-030 $\Delta/h=0.01$

Con las características oceanográficas se evaluó en el programa SAP2000 V20 y como efecto se obtuvieron la respuesta de la estructura, desplazamiento horizontal, para las cinco plataformas y todos los casos de carga, observando que para mayor es profundidades la respuesta es mayor y para las plataformas diseñadas en ningún caso los desplazamientos horizontales superan el desplazamiento máximo dado por la norma API, de 2 a 3 pulgadas

Los resultados obtenidos en el estudio paramétrico de la respuesta de la plataforma mostraron valores de la relación, periodo de ola- periodo de la estructura $1/Bo=Tola/Test$, mayores a la unidad, indicando que no se presentara amplificación dinámica o resonancia en las plataformas marina estudiadas, la respuesta dinámica de una plataforma marina considerando la ocurrencia de resonancia, fue estudiada por Selna y Cho (1972) en base a un método determinístico. Se presentaría resonancia en las estructuras marinas si no tuviesen la rigidez adecuada aumentando su periodo y por ende acercando la relación $1/Bo$ a la unidad.

5.4. Resultados de la propuesta de parámetros de diseño

Estos resultados son presentados en el acápite 4.6, en el cual se busca el objetivo general, se dan parámetros de diseño para la determinación de las características oceanográficas. En base a los 3 variables principales periodo de ola, altura de ola y amplitud de ola, se proporciona la respuesta de la estructura tanto para fuerza hidrodinámica como para fuerza sísmica , con el parámetro d/HT , se determinaron el momento flector, la fuerza normal máxima, los desplazamiento lateral máximo, con el parámetro Dp/Ds se determina los desplazamientos, todo lo descrito anteriormente fue para diferentes casos de carga (CM+CV1+CV2) , se utilizó cargas equivalentes puntuales entre valores de 250 Toneladas a

10 000 toneladas, por lo tanto utilizando estas tablas se podrá realizar un predimensionamiento de secciones o verificación de una estructura existente.

Al evaluar estas plataformas se logró obtener tablas y gráficos paramétricos que servirán para:

- a) Predimensionar estructuras a proyectar (nueva), conociendo las cargas equivalentes de una plataforma y la profundidad se determina el diámetro de las columnas principales de la plataforma.
- b) Verificación del análisis estructural tanto respuesta como las dimensiones de los elementos de estructurales, conociendo las dimensiones de la columna principal (relación D/t), se puede obtener la carga que puede soportar.

5.5. Contrastación de hipótesis

a) Hipótesis general: Conociendo los parámetros de diseño ante la fuerza hidrodinámica y sísmica se mejoraría el comportamiento estructural de las plataformas marinas para profundidades menores a 100 metros.

Para la fuerza sísmica y fuerza hidrodinámica se utilizaron los parámetros de la profundidad del mar/altura total de la estructura (d/HT), se obtuvieron desplazamientos laterales y momentos y fuerzas axiales máximas. Así mismo para el diseño se utilizaron los parámetros del diámetro del elemento principal/espesor (D_p/t) y diámetro del elemento secundario/ espesor (D_s/t'), con estos parámetros se obtuvieron tablas para el predimensionamiento o verificación de plataformas ubicadas en el mar del norte del Perú.

Conocidos estos parámetros, se puede predimensionar o analizar plataformas marinas fijas bajo las condiciones propias del mar del norte del Perú, por tanto, se valida esta hipótesis general.

b) Hipótesis específica 1: Conociendo las características oceanográficas se mejoraría el comportamiento estructural de las plataformas marinas para profundidades menores a 100 metros.

Esta hipótesis se valida, porque conociendo los valores de altura de ola y periodo se puede obtener la respuesta para fuerza hidrodinámica, para cualquier profundidad de una plataforma marina bajo las condiciones oceanografías propias del mar del norte del Perú.

c) Hipótesis específica 2: Conociendo las características hidrodinámicas mejoraría el comportamiento estructural de las plataformas marinas para profundidades menores a 100 metros.

Esta hipótesis se cumple porque conociendo la influencia de la fuerza de inercia y dragado componentes de la fuerza hidrodinámica se puede determinar la respuesta de la estructura para fuerza hidrodinámica, para cualquier profundidad de una plataforma marina bajo condiciones propias del mar del norte del Perú.

d) Hipótesis específica 3: Conociendo la respuesta no lineal de las plataformas marinas se determinaría que la fuerza sísmica es la que predomina en el diseño para profundidades menores a 100 m.

Esta hipótesis se cumple, tanto por las características oceanográficas del mar del norte del Perú que presentan valores propios, como que la altura de ola de diseño no supera los 4 metros y el periodo de ola esta entre 9 y 20 segundos, y conociendo de que el Perú está en una zona sísmica, Se analizó la respuesta tanto por fuerza hidrodinámica y fuerza sísmica, los resultados mostraron mayores valores de desplazamiento, fuerza normal y momento flector por efecto de la fuerza sísmica.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Se determinaron los parámetros de diseño para plataformas marinas situadas a menos de 100 metros, obteniendo parámetros operacionales que dan características geométricas y mecánicas a las plataformas marinas, parámetros medioambientales dan rangos de acción para las fuerzas hidrodinámicas y parámetros estructurales, como la relación diámetro principal- espesor D/t permiten respuestas menores a las indicadas por la norma. Estos parámetros proporcionan el predimensionamiento y análisis de plataformas marinas, con características propias del mar del norte peruano, para profundidades menores de 100 m.
- 6.2. Se determinaron los parámetros medioambientales relacionando la altura de ola, periodo de ola, velocidad, aceleración de las partículas del mar, tal es el caso del parámetro que relaciona el periodo de ola- periodo de la estructura $1/Bo=Tola/Test$, estará en el rango entre 15 y 33, valores alejados a 1, caso crítico donde se presenta amplificación dinámica, estos parámetros medioambientales estudiados indican que no se presentara amplificación en las plataformas planteadas, proporcionando un aporte al estudio de plataformas marinas en el Perú.
- 6.3. Se determinaron parámetros estructurales tales como la relación diámetro de elemento principal -espesor (Dp/t) para diferentes profundidades y diferentes casos de carga, esta relación Dp/t varía entre 19 – 90, en este estudio se varió entre (36-73), este parámetro permite el predimensionamiento y análisis de la plataforma marina y se puede también determinar la respuesta de la estructura estando dentro los valores recomendados por la normativa.
- 6.4. Para condiciones del mar del norte del Perú, es decir profundidades menores de 100 m, periodos de ola de 10 a 20 segundos, altura de ola de 1 a 4 metros y estructuras con periodos naturales del orden de 3 segundos, se determinó la incidencia de la fuerza sísmica en la respuesta de la estructura.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda realizar un estudio geotectónico, sísmico, con ello se obtendrán los parámetros operacionales y estudio de los parámetros medioambientales, partiendo de la configuración estructural que es el punto de partida para el análisis y diseño de las plataformas marinas en el Perú.
- 7.2. Se recomienda realizar un estudio oceanográfico detallado para un periodo de retorno de 100 años, determinando la altura de ola, periodo de ola, características de crecimiento marino, para el análisis y diseño de las plataformas marina
- 7.3. Se recomienda para los parámetros estructurales una estructuración previa de la plataforma a diseñar considerando el reglamento del American Petroleum Institute API y los resultados de este estudio considerar una relación de D/t entre 35 y 60
- 7.4. Se recomienda realizar un análisis con las fuerzas hidrodinámicas y sísmicas ya que la incidencia de una de ellas depende el diseño de la plataforma de las características oceanográficas y profundidad del mar donde se ubica la plataforma marina.
- 7.5. Para estructuras utilizadas en profundidades mayores a 100 metros, y según las características hidrodinámicas estudiadas se recomienda un análisis de vibraciones aleatorias.
- 7.6. Se recomienda para futuros estudios de plataformas marinas para el mar del norte considerar el efecto de la fatiga, que se presenta por el efecto continuo de cargas cíclicas.

VIII. REFERENCIAS

- Ahumada, C. (2013). *Análisis y modelación de una plataforma marina*. [Tesis de grado]. Universidad Autónoma de México.
- API – American Petroleum Institute. (December 2007). RP 2A – WSD. *Recommend Practice for Planning, Designing Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design*. Washington DC. USA, Ed. 22.
- Arteaga, J. y Herrera, A. (2014). *Estado del arte de las estructuras offshore en el Caribe Colombiano*. Programa de Ingeniería Civil. [Tesis de grado]. Universidad Católica de Colombia.
- Bea, R. y Lai, N. (1978). Hydrodynamics loading on Offshore Platforms. *Offshore Tech. Conf.* OTC paper N 3064.
- Beltran F., y Cerrolaza M. (1989) Análisis dinámico de estructuras sometidas a cargas no lineales. *Rev. Internacional de métodos numéricos para calculo en ingeniería*. 5(4), 473-501.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7595/Article03.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bolaños, R. (2017). Reseña histórica de la explotación por petróleo en las cuencas costeras del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú-SGP*, 112(001-013). www.sgp.org.pe
- Borja, M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*. Chiclayo 2012. [Archivo PDF]
- BPZ Exploración y producción SRL. (Setiembre 2011). Estudio de Impacto ambiental para el “Proyecto de instalación de la plataforma CX-15 y facilidades de producción para la exploración y producción de 24 pozos en el yacimiento Corvina-lote Z-1, Región

Tumbes". <https://www.gob.pe/institucion/minem/colecciones/32225-bpz-exploracion-produccion-s-r-l-lote-z-1>

Caballero, J. (2014). *Ingeniería Costa Fuera orientada al diseño estructural de una Plataforma Fija tipo Jacket para tirantes de aguas someras instalada en el golfo de México*. [Tesis de grado] Universidad Autónoma de México.

Chacrabarti, K. (2005). *Handbook of offshore engineering: Offshore Structure Analysis*. (Volumen I.). Inc. Plainfield Illinois.

CISMID/FIC/UNI, CEOIS *Centro de observaciones para la Ingeniería Sísmica*. Red Acelerográfica del CISMID-REDACIS. (s.f.) <http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>

Claros, F. (2018). *Análisis paramétrico de plataformas marinas fijas sometidas a oleaje*. [Tesis de grado] Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú
http://www.catalogo.uni.edu.pe/cgibin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=308377&query_desc=kw%2Cwrdl%3A%206581

Dao, B. y Penzien (1980). Treatment of non- linear Drag Forces acting of offshore plataforms. *Earthquake Eng. Center*.

Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú [DHN] (2013). *Normas técnicas hidrográficas N°08 Oceanografía. Manual de procedimientos para la medición de olas*.

Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú [DHN] (2019). *Boletín diario de condiciones oceanográficas*.

García, R. y Wincler, P. (2009). Generación de energía por corrientes de marea en Chile. Una aplicación al caso de Melinka. *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile*, 121(3).

Garrison, J. y Chow, P. (1972), Wave forces on submerged bodies. *Journal. Waterways Harbors and Coastal Engineering Division*.

Herbich, J. y Sahank, G. (1971). Forces due to waves on submerged Structures. *ASCE*.

- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación científica*. (6ta Ed.) Editorial McGraw Hill.
- Hirschfeldt, M. y Iglesias, S. (2008). El offshore en el mundo: aspectos técnicos y estadísticas de la industria. *Primer foro offshore del golfo San Jorge*. www.OilProduction.net
- Isaccson, M. y Sanjay, S. (1986). Direccional wave effects on large offshore structures. *ASCE, Journal of waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering*.
- Instituto Técnico de La Estructura en Acero. [ITEA]. (2013). *Sistemas Estructurales: Plataformas petrolíferas*. (Tomo 17).
- Jonkman, J y Butterfield, S.(NREL), Passon, P (SWE), Larsen, T (Riso NL). Camp, T. y Nichols, J. (GH), Azcona, J. y Martínez, A. (Cener). (2008), Offshore Code Comparison Collaboration within IEA wind annex XXIII: Phase II results regarding monopile foundation modeling. *DTU Orbit*.
<https://orbit.dtu.dk/en/publications/offshore-code-comparison-collaboration-within-iea-wind-annex-xxii-2>
- Macavilca, N., (2014) *Estudio Teórico experimental de un pilote bajo acción de carga lateral*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Masmar (18 Nov 2013) Características de las olas. Longitud de onda, altura, amplitud. *Masmar tu portal nautico en internet*. <https://www.masmar.net/index.php/esl/Mar,-Pesca,-Suby-Ecolog%C3%ADa/Oceanograf%C3%ADa/Caracter%C3%ADsticas-de-las-olas.-Longitud-de-onda,-altura,-amplitud,-direcci%C3%B3n>
- McCormac, J. y Csernak S. (2012). *Diseño de estructuras de acero*. (5ta ed.) Editorial Alfaomega.
- Meléndez, W. (2017). *Recomendaciones básicas para el cálculo estructural de plataformas marinas Costa fuera en Venezuela siguiendo procedimientos establecidos por la norma ISO 9001*. [Tesis de grado]. Universidad Rafael Urdaneta Venezuela.

- Mendoza, R. (2017). *Proyecto de implementación de una unidad de medición fiscal automática para mejorar el proceso de fiscalización de crudo de las plataformas CX-111 YCX-15 en el lote Z-1 Zorritos-Tumbes*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Piura.
- Mott, R (2006). *Mecánica de Fluidos*. (6ta ed.) Editorial Pearson Educación
- PEMEX (2007). *Diseño y evaluación de plataformas marinas fijas en el golfo de México*. Comité de normalización de Petróleos Mexicanos y organismo subsidiario. NRF-003-PEMEX-2007 .
- Penzien, J., Kaul, M. y Berge, B. (1972). Stochastic Response of Offshore Tower to Random Sea waves and Strong Motion Earthquakes. *Computers and Structures*.
- Quispe, A. (2016) *Exploración de hidrocarburos en aguas profundas en el Perú, Technical report-November 2016*. Universidad Nacional de Ingeniería [UNI]. <https://www.researchgate.net/publication/309780420>
- Rains, P. y Subrata, K. (1972). Mechanical excitation submerged structures ASCE. *Journal Waterways Harbors and Coastal Engineering division*.
- Rodríguez, J. y Rueda, J. (2009). *Modelamiento de una plataforma marina fija en la Ronda Caribe a partir de unos requerimientos establecidos*. [Tesis de grado]. Universidad Industrial de Santander.
- Rumbo Minero. (21 julio 2015). Instalación ductos en el lote submarino de Piura. *Rumbo minero*. https://www.rumbo_minero.com/peru/noticias/hidrocarburos/savia-instalaramas-ductos-en-lote-submarino-de-piura/
- Selna, L. y Cho, D. (1972). Resonant response of Offshore Structures, ASCE, *Journal of the waterways Harbors and Coastal, Engineering Division*.
- Sring, B. y Monkmeyer, L. (1975). Interaction of plane waves whit a row of cylinders. *Proc. Third Specialiity Conf. Civil Engineering In ocean, ASCE, Newark*.
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. (4ta ed.) Editorial Limusa

Torres, L. (2011). *Aplicación del Método de Fracturamiento Slickwater en Offshore*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Ingeniería.

Yamamoto, T. y Nath, J. (1976). Hydrodynamic Forces on groups of cylinders. *Offshore Technology conference, paper number OTC 2499*.

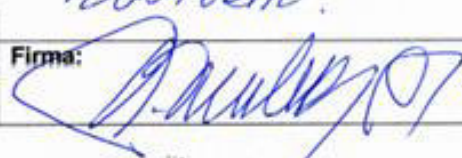
Zienkiewics, O., Irons, B. y Nath, B. (1965). Natural of Complex free or submerged Structures by the finite Element Method. *Symp. Vibration in Civil Eng. London*.

IX. ANEXOS

ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: PARÁMETROS DE DISEÑO EN PLATAFORMAS MARINAS DE ACERO POR EFECTO DE FUERZAS HIDRODINÁMICAS Y SÍSMICAS EN EL MAR DEL NORTE PERUANO (TALARA), PARA PROFUNDIDADES MENORES DE 100 m						
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>PRINCIPAL ¿Cuáles son los parámetros de diseño ante las fuerzas hidrodinámicas y sísmicas para mejorar el comportamiento de las plataformas marinas en el mar del norte peruano para profundidades menores de 100 metros?</p> <p>SECUNDARIOS ¿Cuáles son las características oceanográficas, que pueden mejorar el</p>	<p>GENERAL Determinar los parámetros de las fuerzas hidrodinámicas y sísmicas para mejorar el comportamiento de plataformas marinas en el litoral del Norte peruano para profundidades menores de 100 m.</p> <p>ESPECIFICOS a) Determinar las características oceanográficas que pueden mejorar el</p>	<p>PRINCIPAL Conociendo los parámetros de la fuerza hidrodinámica y sísmica se mejoraría el comportamiento de las plataformas marinas para profundidades menores a 100 metros.</p> <p>SECUNDARIAS - Conociendo las características oceanográficas se mejoraría el</p>	<p>INDEPENDIENTES: Fuerza hidrodinámica y Fuerza sísmica</p> <p>DEPENDIENTES: Parámetros de diseño.</p>	<p>Profundidad del mar</p> <p>Parámetros operacionales</p>	<p>Nivel medio del mar Marea alta Longitud de ola Altura de ola Periodo de ola Diámetro del tubo principal</p> <p>Función de la plataforma Numero de pozos</p>	<p>Tipo Investigación aplicada Cuantitativa prospectiva, Determinístico comparativa Predictiva</p> <p>Población: Plataformas marinas, lote Z-2B, ubicadas en Talara, Paíta y Sechura</p> <p>Muestra: Muestra no probabilística tipo</p>

ANEXO B. FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

FICHA DE INGRESO DE DATOS al programa SAP 2000 -V20			
Ing. Evaluador: Northon De la Cruz Torres			
Tesis: PARÁMETROS DE DISEÑO EN PLATAFORMAS MARINAS DE ACERO POR EFECTO DE FUERZAS HIDRODINÁMICAS Y SÍSMICAS EN EL MAR DEL NORTE PERUANO (TALARA), PARA PROFUNDIDADES MENORES DE 100 m			
Configuración de grilla		Definición de elementos estructurales	
Número de tramos verticales	Var. 6-10	Elementos torre (frame section)	
Numero de ejes principales	Var 14-22	Elementos tubulares de acero.	
Numero de ejes secundarios	Var 14-22		
Altura de vanos verticales torre (m)	Var 5.18-15	Elementos plataforma (frame section)	
Altura entre plataformas (m)	Var 5.2-5.5	Plataformas de operación	
Propiedades del acero		Elementos tubulares, perfiles W, planchas de acero y rejillas de acero.	
Peso específico (KN/m3)	76.97		
Esfuerzo de fluencia f_y (KN/m2)	248211.28		
Esfuerzo de rotura F_u (KN/m2)	399896		
Modulo de elasticidad (E) (KN/m2)	1.99 E+8		
Modulo de corte(G) (KN/m2)	76903069		
Modulo de Poisson(u)	0.30		
Fuerza Hidrodinámica			
Profundidad del mar (m)	Var 12-100		
Periodo de ola (segundos)	Var 9-20		
Altura de ola (m)	Var 4-6		
Longitud de ola (m)	Var100-300		
Periodo de la estructura (segundos)	Var 2-3		
Diámetro tubo estructura	Var 12"-80"		
Espectro de Respuesta		Estados de Carga	
Factor de zona (Z)	4	Carga Permanente torre (Tn)	500-1200
Factor de uso (U)	1.5	Carga viva (Kgf/m2)	Var 450-600
Factor de amplificación sísmica (C)	2.5	Carga viva plat sup. (Kgf/m2)	Var 300-500
Factor de suelo (S)	S ₃	Cargas de viento (Kgf/m)	20-30
Coeficiente de reducción (R)	6	Carga muerta plataforma (Tn)	300-800
Datos dinámicos		Obs: <i>¡CONFORME!</i>	
Ct	----	Firma: 	
Periodo fundamental (segundos)	Var 1-2		
Factor de escalonamiento	1		

1



NORTHON JESUS MARTIN
DE LA CRUZ TORRES
 CIP N° 53342