



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIÓN DE LA FUERZA DEL OLEAJE EN EL DISEÑO
ESTRUCTURAL DE UN MUELLE EMBARCADERO EN EL
DISTRITO DE LA PUNTA, REGIÓN CALLAO**

PRESENTADA POR

HAB JILL BELLIDO CABRERA

MARCO ANTONIO SIESQUEN BANCES

ASESOR

ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2018



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada
CC BY-NC-ND**

Los autores permiten que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIÓN DE LA FUERZA DEL OLEAJE EN EL DISEÑO
ESTRUCTURAL DE UN MUELLE EMBARCADERO EN EL
DISTRITO DE LA PUNTA, REGIÓN CALLAO**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADA POR

**BELLIDO CABRERA, HAB JILL
SIESQUEN BANCES, MARCO ANTONIO**

LIMA, PERÚ

2018

Agradecemos a Dios por permitir que estemos presentes guiando nuestros caminos, cada uno de nuestros días, dándonos la fuerza para avanzar y seguir mejorando a lo largo de la vida profesional.

A nuestros padres, por haber confiado en nosotros por todo este tiempo y nuestros familiares que nos otorgaron su apoyo de manera incondicional durante toda nuestra formación profesional.

Los autores

ÍNDICE

| | Página |
|---|--------------|
| RESUMEN | . vi |
| ABSTRACT | . vii |
| INTRODUCCIÓN | |
| | viii |
| CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1 Situación problemática | 1 |
| 1.2 Definición del problema | 2 |
| 1.3 Formulación del problema | 3 |
| 1.4 Objetivos de la investigación | 3 |
| 1.5 Justificación de la Investigación | 3 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 6 |
| 2.2 Bases teóricas | 10 |
| 2.3 Definición de términos básicos | 39 |
| CAPÍTULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES | 41 |
| 3.1 Hipótesis | 41 |
| 3.2 Variables | 41 |
| CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA | 43 |
| 4.1 Diseño metodológico | 43 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2 Técnicas de recolección de datos | 43 |
| 4.3 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información | 43 |
| 4.4 Diseño muestral | 44 |
| 4.5 Aspectos éticos | 45 |
| CAPÍTULO V. RESULTADOS | 46 |
| 5.1 Cálculo de altura de olas en el área de estudio | 46 |
| 5.2 Cálculo de la longitud del muelle | 51 |
| 5.3 Cálculo del pilote | 51 |
| 5.4 Cálculo de la fuerza de olas por Minikin | 55 |
| 5.5 Cálculo del número de pilote en un núcleo | 56 |
| CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN | 57 |
| CONCLUSIONES | 58 |
| RECOMENDACIONES | 59 |
| FUENTES DE INFORMACIÓN | 60 |
| ANEXOS | 62 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|---|--------|
| Tabla 1. Tabla de mareas 2018 para los meses y Febrero (Callao) | 16 |
| Tabla 2. Tabla de periodo de 14 seg para el cálculo de K_s | 22 |
| Tabla 3. Ocurrencia de altura y dirección del oleaje | 24 |
| Tabla 4. Valores representativos del coeficiente de módulo de subgrado horizontal | 50 |
| Tabla 5. Catálogo de martillos Delmag para hincado de pilotes | 51 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1. (IZQ) Área que comprende el provincia del Callao – (DER) mapa físico político | 9 |
| Figura 2. Área delimitada del distrito de La Punta en la provincia del Callao | 10 |
| Figura 3. Ubicación de punto en el mar mediante un bote y 2 teodolitos | 12 |
| Figura 4. Ubicación de punto en el mar mediante un bote y un teodolito | 13 |
| Figura 5. Ubicación de punto en el mar mediante un sextante y un bote | 13 |
| Figura 6. Ubicación de punto en el mar mediante el empleo de un ecosonda y un bote | 14 |
| Figura 7. Plantilla transparente para la construcción del grafico de refracción | 21 |
| Figura 8. Refracción de olas provenientes del sur que inciden en el proyecto | 23 |
| Figura 9. Factores que intervienen en la longitud del pilote | 25 |
| Figura 10. Gráfico para calcular el H_b/H' o con respecto a la curva de pendiente | 47 |
| Figura 11. Gráfico para calcular el db/H_b con respecto a la curva de pendiente | 49 |
| Figura 12. Gráfico para calcular la altura sobre la estructura | 53 |

RESUMEN

La presente investigación es una aplicación de una fuerza o carga, no considera para el diseño de las estructuras portuarias, esta es la fuerza de oleaje. Para ello se ha comprobado la información que se tuvo a disposición sobre los estudios oceanográficos, de manera que la aplicación de esta información al diseño de un muelle embarcadero sea lo más exacta posible, y esta posea criterios válidos para un mejor desempeño. Para el desarrollo de la investigación se recopiló la información tanto de entidades públicas como de privadas teniendo en consideración su importancia tanto en el diseño como en construcción de las estructuras portuarias, además de la toma de datos en el campo y estudios en gabinete para el desarrollo del diseño de un muelle embarcadero. El procedimiento de diseño de muelles embarcaderos en la actualidad no toma en consideración los estudios oceanográficos los cuales si se desarrollan mas solo para tenerlos como requisito para la obtención de áreas acuáticas. La investigación sobre la implementación de esta fuerza de oleaje proyecta la mejora de un diseño y queda como precedente para un correcto diseño de un muelle embarcadero.

ABSTRACT

The present investigation is an application of a force or load, it does not consider for the design of the port structures, this is the force of waves. To this end, the information available on oceanographic studies has been verified, so that the application of this information to the design of a dock wharf is as accurate as possible, and this has valid criteria for better performance. For the development of the research, information was gathered from both public and private entities, taking into account their importance both in the design and in the construction of the port structures, in addition to data collection in the field and studies in the cabinet for development of the design of a pier dock. The process of designing wharves docks currently does not take into account the oceanographic studies which if they are developed more only to have them as a requisite for obtaining aquatic areas. Research on the implementation of this wave force projects the improvement of a design and is a precedent for the correct design of a jetty dock.

INTRODUCCIÓN

La costa peruana tiene una industria pesquera para lo cual se vio necesario la construcción de muelles embarcaderos y con una flota creciente en número y tamaño de embarcaciones, se requirió un campo en construcción de puertos el cual en la actualidad es amplio.

La presente investigación parte de la problemática que se va presentando en el transcurso de la vida útil de algunos muelles embarcaderos el cual es el deterioro estructural próximo antes del cumplimiento de la vida útil así mismo la respectiva orientación la cual no es orientada a la zona de rompiente, y ahora con la presente investigación se desarrollara criterios de diseño para un muelle embarcadero en una zona que presenta rompientes y la cual requiere de un muelle para la zona de La Punta en el Callao.

El criterio de diseño se desarrolló con la consideración de la fuerza oleaje, los estudios que se tienen para el diseño del mismo son referenciales de zonas cercanas al área de estudio además se tuvo material documenta elaborado por la capitanía del puerto.

La motivación de la investigación, parte de implementar criterios de diseño a vista de la ausencia de los mismos, todo esto a pesar de los nuevos proyectos que se disponen a construir y de los mismo que se están refaccionando.

El objetivo de la investigación es la implementación de la fuerza del oleaje al diseño del muelle así mismo la correcta orientación del cabezo para un mejor desempeño.

La tesis comprende seis (6) capítulos. El primero trata sobre la problemática que presenta el distrito de La Punta en la región Callao. El segundo corresponde al marco teórico que es la base teórica en la cual nos apoyaremos para el desarrollo de la presente investigación. En el tercero, se plantearon las hipótesis y variables las cuales serán comprobadas por la investigación. En el cuarto, se detalla la metodología con la que se elaboró, entre las cuales se detallan las técnicas de recolección de datos y el procesamiento de información. En el quinto, se procede a demostrar los resultados de los cálculos elaborados los cuales se basaron en la información de los capítulos precedentes. En el sexto y último capítulo, se procedió a analizar los resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

La punta posee construcciones de viviendas y locales comerciales aledaños al malecón Pardo, presenta un perfil costero rocoso con piedras medianas de canto rodado. Este es una zona de atractivo turístico y al mismo tiempo el principal factor económico del lugar, debido al descuido y poca conservación de sus playas y mulles embarcaderos, presenta una disminución en la inversión privada para el desarrollo de obras civiles.

En la actualidad, la construcción de muelles se ha venido desarrollándose debido al aumento en los distintos sectores: pesquero, minero, turísticos, deportivos entre otros.

Muchos de los muelles en la actualidad ya cumplieron su vida útil o vienen presentado fallas estructurales afectando sus actividades para los cuales fueron planteados.

Los diseños que se vienen desarrollando en su mayoría no toman en consideración los estudios hidro-oceanográficos debido a que son pocas las empresas constructoras que están autorizadas por la Dirección de Hidrografía y

Navegación de la Marina de Guerra del Perú para desarrollar este tipo de estudios.

Entre estos estudios tenemos las mareas, que son parte fundamental de los estudios hidro-oceanográficos, de ahí la importancia de conocer el comportamiento y la fuerza producida por el oleaje que recibirá el muelle, para tener un mejor desempeño y vida útil.

En su mayoría, estos estudios son tomados para pedir permisos sobre las áreas de concesión a cargo de la Dirección General de Capitanías y Guardacostas.

Con la presente investigación, se quiere ayudar a los profesionales dedicados a las obras portuarias a mejorar sus diseños implementando la carga producida por el oleaje.

La presente investigación se realizó apoyándose en la recolección de información realizada por medio de entidades:

- a. I.G.N (Instituto Geográfico Nacional)
- b. D.H.N.M(Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina)
- c. FONDEPES (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero)
- d. HIDROMAM EIRL

1.2 Definición del problema

La ausencia de un diseño óptimo que considere la carga producida por la fuerza del oleaje conlleva, en unos casos, a un desarrollo de vida útil inconcluso o con presencia de fallos estructurales al poco tiempo de ser entregado, esperando que con esta investigación se implemente esta carga y llegue a cumplir con tiempo de vida para el cual fue diseñado.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general:

¿Cómo implementar la fuerza del oleaje al diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta callao?

1.3.2 Problemas específicos:

- a. ¿Qué influencia tiene el impacto del oleaje en el diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta callao?
- b. ¿En qué medida afecta el socavamiento al muelle embarcadero?
- c. ¿En qué medida afecta la estructura a la morfología en la línea costera?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general:

Implementar la carga producida por la fuerza del oleaje al diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta.

1.4.2 Objetivos específicos:

- a. Determinar la longitud para el diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta callao.
- b. Identificar los efectos del socavamiento del muelle embarcadero.
- c. Evaluar los cambios e impactos costeros producidos por el muelle.

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Importancia de la investigación:

Es un tema importante debido a que, en la actualidad, son pocas las empresas constructoras dedicadas al rubro portuario que desarrollan estudios hidro-oceanográficos, los cuales son tomados en su mayoría para trámites

documentarios que se realiza ante Dirección General de Capitanías y Guardacostas (DICAPI) y no para el diseño de estas.

Estos estudios son importantes debido a que nos proporcionan la información necesaria para determinar la longitud, orientación, altura que tendrá el muelle y como afecta las mareas a la posible estructura.

Sirvió como guía o referente para la mejorar la elaboración de diseños de los muelles. Beneficiado a los ingenieros interesados al tema portuario para mejorar sus diseños estructurales.

Aportó en un plano económico, al presentarse como diseño precedente de mejora al cumplimiento de la vida útil de la estructura.

1.5.2 Viabilidad de la investigación:

1.5.2.1 Viabilidad técnica:

La existencia de equipos técnicos, tanto mecánicos como electrónicos, así como información proporcionada por la capitanía de la zona. Si bien es cierto la información que se tiene sobre estudios hidro-oceanográficos es un tanto limitada, pero se obtuvo información de expedientes técnicos y la consulta a profesionales dedicados tanto a desarrollar estos estudios, así como al diseño de muelles. El uso de software como el AutoCAD, Excel, entre otros a utilizar, así mismo, los recursos humanos como los desarrolladores de la presente investigación, que hacen que el trabajo realizado sea viable técnicamente.

1.5.2.2 Viabilidad económica:

La tesis conlleva a un beneficio económico social a la población de la zona en caso esta sea ejecutada. Con respecto al financiamiento de la investigación será asumida por los desarrolladores de la presente tesis.

1.5.2.3 Viabilidad social:

La ejecución de esta tesis aportó de manera positiva a la localidad mejorando su estilo de vida puesto que no disponen de un muelle embarcadero próximo a la zona.

1.5.2.4 Viabilidad operativa:

Se cuenta con estudios realizados por La Marina los que se adquieren en una tabla de mareas, así mismo, la información referencial de un estudio de suelos próximo a la zona de estudio, planos de olas en el cual se detalla la zona de rompientes entre otros. Todo esto sumado a la bibliografía y documentación adquirida por los desarrolladores de la tesis dio pase al desarrollo de esta misma. Además, se cuenta con la orientación de profesionales que se encuentran tanto en el diseño como en la construcción de estructuras portuarias.

1.5.3 Limitaciones del estudio:

El tiempo es uno de los factores que limitan la investigación planteada, debido a que se determinó con una idea diferente la cual se dio forma.

Si bien es cierto el financiamiento será asumido por los autores de la investigación, pero no se tienen los fondos suficientes para desarrollar los estudios básicos (Estudio geotécnico, estudio hidro-oceanográfico) detallados en la zona del proyecto, tomando como referencia estudios básicos cercanos a la zona del proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Aliaga y Castillo (2009), afirman que en el ámbito nacional la industria pesquera comenzó una verdadera ocupación del mar con las conservas y la harina de aceite de anchovetas creando la necesidad de construir muelles y varaderos para el servicio a las fábricas y a una flota pesquera creciente en número y tamaño de embarcaciones.

En la década de 1960, la industria pesquera peruana ocupó los primeros lugares en el mundo y junto con ella se desarrolló la industria constructora de embarcaciones llegando a establecerse un prototipo de embarcación y paralelamente un tipo de muelle para los servicios de la industria pesquera.

El campo de la construcción de puertos en general es muy amplio, pues comprende desde los superpuertos con muelles para el atraque y servicio de buques de miles de toneladas de peso muerto hasta los terminales para pesca artesanal con muelles para atraque y servicio a embarcaciones de menor cantidad de toneladas de peso muerto. Actualmente, la industria pesquera peruana abarca prácticamente las 200 millas de mar esta misma es fuente de trabajo y de divisas para el aumento del índice económico. (p.12)

En el marco de la Ley del Sistema Portuario Nacional (Ley N° 27943). La Autoridad Portuaria Nacional tiene la misión de conducir y desarrollar el Sistema Portuario Nacional, el fomento de la inversión privada en los puertos y la coordinación de los distintos actores públicos o privados que participan en las actividades y servicios portuarios, con el fin de lograr su competitividad y sostenibilidad.

El sistema Portuario nacional está integrado por Instalaciones portuarias, de las cuales 50 cuentan con la certificación de protección de buques e instalaciones portuarias (PBIP), otorgadas por la Autoridad Portuaria Nacional (APN).

En lo que respecta a la pesca artesanal, a la fecha, se cuenta con más de 57 mil pescadores y alrededor de 14 mil embarcaciones pesqueras en el litoral costero, se cuenta además con aproximadamente 45 muelles no contando todos con las instalaciones adecuadas para realizar un trabajo más eficiente.

Con el fin de apoyar al sector pesca, el Ministerio de Producción tiene varios organismos públicos adscritos a él, siendo uno de ellos FONDEPES que se encargan de promover, ejecutar y apoyar técnica, económica y financieramente al desarrollo de las actividades pesqueras, así como en la infraestructura y distribución de recursos pesqueros.

En la actualidad, el Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES) viene interviniendo varios Desembarcaderos Pesqueros Artesanales (DPA) a lo largo de toda la costa peruana debido a que vienen presentándose diferentes fallas estructurales, tanto en las obras de tierra como de mar debido a que ya

cumplieron su vida útil poniendo en riesgo el funcionamiento de los DPA'S perjudicando la producción y a todos sus beneficiarios.

Una de las ciudades más importantes es el Callao debido a la gran producción que tiene. Posee varios muelles debido a su situación estratégica que tiene respecto a otras ciudades.

Si bien es cierto El Callao ofrece una buena producción de recursos hidrobiológicos, pero uno de sus distritos "La Punta" viene siendo afectado debido a que los muelles cercanos son de origen privado y posee un muelle turístico el cual está sobrepoblado.

El presente tema de investigación tiene como propósito el diseño de un muelle incorporando las cargas producidas por la fuerza del oleaje para un mejor diseño estructural.

2.1.1 Características del lugar de estudio

La municipalidad de La Punta (2018) Fue fundada el 6 de octubre de 1915. Es una península que se encuentra en el extremo más occidental de la Provincia Constitucional del Callao, enclavada en el Océano Pacífico.

La Punta abarca un área de 0.7 km², limita por el Norte, el Oeste y el Sur con el Océano Pacífico. Por el Este con el barrio de Chucuito, perteneciente al Cercado del Callao.

El clima de La Punta es el típico de la costa peruana. Principalmente cálido y despejado en verano y ligeramente frío con cielos cubiertos en invierno. Tiene una población de aproximadamente 5,000 habitantes.

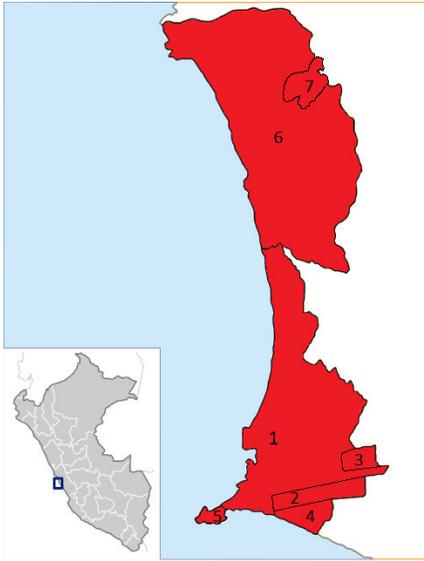


Figura 1. (IZQ) Área que comprende la provincia de El Callao – (DER) mapa físico político

Fuente: Wikipedia

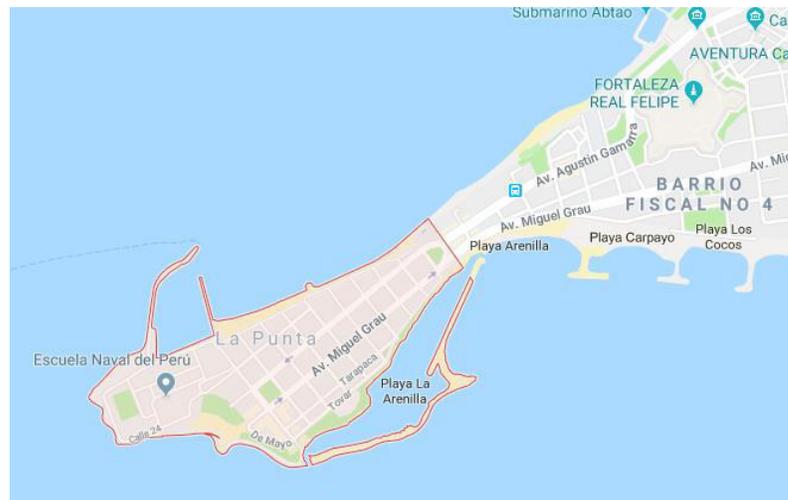


Figura 2. Área delimitada del distrito de La Punta en la provincia de El Callao

Fuente: google maps

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Estudios básicos

2.2.1.1 Mareas

Según Fuentes (2001), la marea es una ola larga de periodo de 6 a 12 horas, se observa como el producto de la elevación y depresión periódica del mar. Es un movimiento vertical y va acompañado de movimientos horizontales los cuales se llaman corrientes de marea. Estas están bajo la influencia del Sol, la luna y la tierra.

Otras olas largas que existen en el océano son las olas largas generadas por movimientos sísmicos y que llega a la costa como Tsunamis (olas de periodo de 20- 30 minutos).

En los puertos, se presentan, eventual y periódicamente otras olas largas generadas por la introducción de energía llevada por olas cortas formando y generando seiches con periodos de 10 - 12 minutos). Existen datos relativamente extensos del nivel de marea del Callao. La costa verde está a menos de 25 km. del Callao, lo cual es suficientemente cerca para asumir que la marea es igual a la del Callao.

Se tienen registros e informes que se presentan niveles de marea pico de 1.50 m. Sobre la línea de referencia de aguas bajas, el cual consta de un nivel de marea anual máximo de 1.1 m. más una sobre elevación de 0.4 m. por el fenómeno del niño. Se considera que el nivel promedio del mar en el Callao es de 0.52 m. sobre la línea de referencia de agua bajas.

En las mediciones efectuadas, durante los últimos fenómenos de "El Niño" se ha registrado una sobreelevación del nivel del mar de 0.30m a 0.50 m que deben ser considerados a las alturas máxima a las mareas.

En el presente estudio, se tomó en consideración como medición de la marea por el fenómeno de "El Niño" de 0.50 m.

2.2.1.2 Batimetría

Fuentes (2001) afirma que la batimetría es conocida como levantamiento "topográfico" bajo el nivel de mar, es decir, es el sistema de medición de profundidades del mar en diferentes puntos, el cual nos permitirá conocer el relieve del fondo marino. Las representaciones del fondo marino en el plano batimétrico, al igual que los topográficos, se obtienen mediante curvas de nivel conocidas con el nombre de curvas batimétricas o veriles.

Las mediciones de las curvas batimétricas se requieren que para cada punto tomado en el mar se determine tanto su ubicación como su cota (altura). Para realizar la Batimetría es necesario ubicar, en el plano, la ubicación horizontal de la profundidad, medida con ecosonda, la ubicación horizontal se efectúa mediante la intersección de dos visuales de teodolito sobre una sección perpendicular a la playa que a la vez sirve de alineación de la embarcación que transporta el ecosonda que mide las profundidades.

2.2.1.2.1 Métodos de sondaje

a. Sondaje manual:

Consiste en la toma de medida de la profundidad del mar mediante una sondaleza unida mediante una soga graduada en metros y sub graduada en centímetros. En el extremo lleva un peso de 4 a 20 kg llamado escandallo, el cual hace contacto con el suelo submarino.

b. Sondaje de Ecosonda:

Consiste en la toma de medidas de la profundidad del mar mediante el ecosonda el cual emite pulsos de sonido que rebotan y reflejan el fondo marino se necesitará calibrarlo para una mejor toma de datos y se hará en el inicio y fin de las mediciones. Así mismo se debe corregir las diferencias de salinidad y

temperatura del agua, que alteran la velocidad del rebote de la onda que refleja en el fondo marino.

2.2.1.2.2 Ubicación de los puntos en el mar

Fuentes (2001) a) Mediante el empleo de un bote y mediciones y 2 teodolitos: Este método de intersección de visuales es generalmente el más usado. En este se estacionan dos teodolitos en los puntos A y B, teniendo la distancia entre estos puntos como dato, y desde un bote ubicado en el punto P, un hombre da la señal para que midan los ángulos simultáneamente y la intersección de estos ángulos nos da la ubicación del punto P.

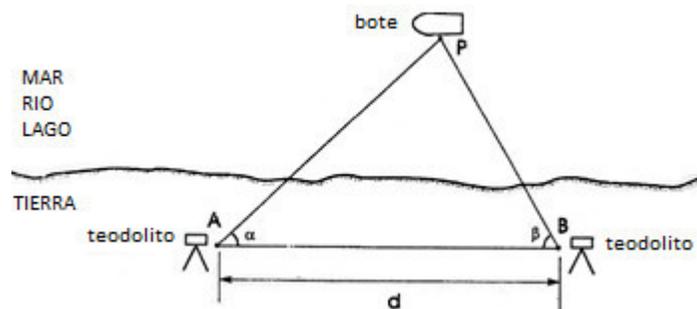


Figura 3. Ubicación de punto en el mar mediante un bote y 2 teodolitos

Fuente: Fuentes, C. (2001), Ingeniería Portuaria.

b) Mediante un teodolito y un bote: Se estaciona un teodolito en el punto B y se tiene la distancia al punto A, desde el bote ubicado en el punto P un hombre da la señal para que se mida el ángulo, este bote recorre según la dirección de AC, la intersección del alineamiento con el ángulo nos da la ubicación del punto P.

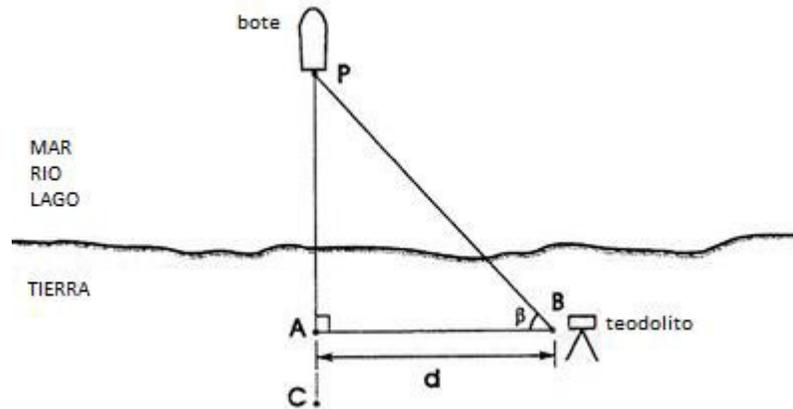


Figura 4. Ubicación de punto en el mar mediante un bote y un teodolito
 Fuente: Fuentes, C. (2001), Ingeniería Portuaria.

c) Mediante un sextante y un bote: En el punto P y con ayuda de un sextante se visualizan los puntos A, B y C, estos puntos son conocidos, con la medición de los ángulos indicados se determina el punto P.

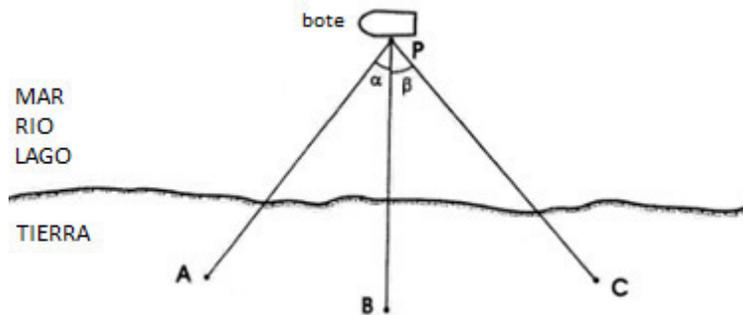


Figura 5. Ubicación de punto en el mar mediante un sextante y un bote
 Fuente: Fuentes, C. (2001), Ingeniería Portuaria.

d) Mediante el empleo de un ecosonda y un bote: Con la ubicación del punto P se hace mediante la determinación de distancias.

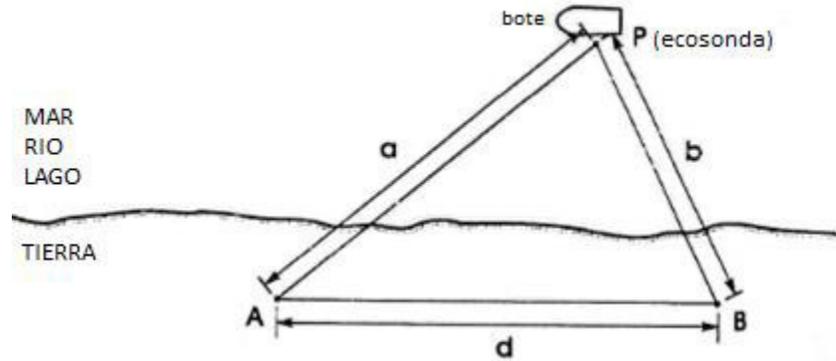


Figura 6. Ubicación de punto en el mar mediante el empleo de un ecosonda y un bote
Fuente: Fuentes, C. (2001), Ingeniería Portuaria.

2.2.1.2.3 Levantamiento batimétrico empleando equipos electrónicos

Fuentes (2001) señala que actualmente, existen diversos equipos electrónicos que nos permiten, no solo medir con mayor exactitud la profundidad del mar, sino también conocer la calidad del material del fondo marino y el espesor de los estratos que los conforman, ya sea roca o arena. La metodología empleada es la siguiente:

a. Medición y registro de profundidades:

Para el registro de las profundidades se emplea un ecosonda digital con transductor de doble frecuencia, la misma que permite archivar la información del sondaje directamente a la computadora mediante el uso de un software especializado, como el Hypack.

Los ecosondas operan basándose en el principio del eco. Desde el transreceptor ubicado en el transductor se emite un pulso ultrasónico, el cual se propaga en el agua a una velocidad de 1500 m/s (para agua de mar), al llegar al fondo se refleja en él retornando al transductor, mientras que la unidad transceptora mide automáticamente el tiempo que demora el eco en ser recibido.

Conociendo la velocidad de propagación y el tiempo que demora el recorrido, se determina la distancia recorrida por la onda.

b. Posicionamiento de los sondajes:

Para el posicionamiento exacto de la embarcación se emplea el método de posicionamiento satelital diferencial DGPS, el mismo que da una precisión de 0.40 m en tiempo real.

Este método consiste en que, tanto la estación en tierra como la estación abordo, tienen instalado un GPS de 12 canales. Individualmente, los GPS de 12 canales tienen errores de posición el 95% del tiempo menos a los 25 metros.

Adicionalmente, el sistema de tierra recibe lo que se denomina correcciones diferenciales, estas correcciones permiten disminuir el error de posición que tiene el GPS de abordo hasta en 1 m.

El procedimiento de estas correcciones es como sigue: el GPS de la estación en tierra, al recibir las correcciones diferenciales de los satélites las transmite al módem, que a su vez convierte la información en ondas de radio las mismas que son transmitidas por la radio del sistema. A bordo, la radio recibe la señal transmitida, la para al módem, quien la convierte en señal reconocible por el GPS, el mismo que finalmente la transmite a la computadora ya con la posición corregida.

c. Separación entre líneas de sondaje:

Las líneas principales de sondaje para levantamientos hidrográficos en áreas marinas se desarrollan tratando de que en cada línea levantada que de graficada correctamente como disminuye la profundidad a medida que se acerca a la costa.

2.2.1.2.4 Determinación de las cotas (alturas) respecto al nivel de bajas mareas de sicigias ordinarias

Fuentes (2001) afirma que antes de dibujar las curvas batimétricas, a cada sondaje debe sumarse o restarse la altura de marea en el instante en que se realizó cada una de estas mediciones, según se encuentre la marea debajo o encima del nivel de la baja marea media de sicigias ordinarias, con lo cual se obtiene la cota de cada punto sondeado en el mar.

$$\text{Cota P} = H \pm h$$

Donde:

H = profundidad de sondaje

h = altura de marea

Es por esto que se hace las anotaciones de la hora en cada punto del sondaje.

La medición de la marea puede realizarse conjuntamente con las mediciones de sondaje, o se pueden obtener de la Tabla de Mareas que es elaborado por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina. En esta tabla, se indican las alturas horarias de los pleamares y bajamares correspondiente al puerto. Estas alturas están referidas al nivel medio de bajamares de sicigias ordinarias, y las horas al meridiano 75°00'00" Oeste. (p.29).

Tabla 1. Tabla de Mareas 2018 para los Meses y Febrero (Callao)

| ABRIL | | | | | | JUNIO | | | | | | | | | |
|----------|------|------|-----------|------|-----|----------|------|----|-----------|------|------|----|----|------|----|
| Día | Hora | Cm | Día | Hora | Cm | Día | Hora | Cm | Día | Hora | Cm | | | | |
| 1 | 0018 | 15 | 16 | 0607 | 98 | 1 | 0045 | 25 | 16 | 0054 | 9 | | | | |
| | 0634 | 96 | | 1205 | 33 | | 0757 | 98 | | 0750 | 117 | | | | |
| | DO | 1230 | | 23 | LU | | 1804 | 93 | | VI | 1440 | 48 | SA | 1431 | 37 |
| | | 1836 | | 99 | | | | | | | 1903 | 64 | | 1942 | 70 |
| 2 | 0055 | 16 | 17 | 0023 | 18 | 2 | 0112 | 28 | 17 | 0144 | 14 | | | | |
| | 0717 | 96 | | 0647 | 102 | | 0832 | 96 | | 0844 | 114 | | | | |
| | LU | 1315 | | 29 | MA | | 1248 | 34 | | SA | 1536 | 49 | DO | 1537 | 37 |
| | | 1910 | | 90 | | | 1839 | 89 | | | 1936 | 61 | | 2047 | 67 |
| 3 | 0130 | 18 | 18 | 0058 | 16 | 3 | 0140 | 31 | 18 | 0239 | 20 | | | | |
| | 0800 | 94 | | 0729 | 104 | | 0908 | 93 | | 0940 | 110 | | | | |
| | MA | 1402 | | 35 | MI | | 1335 | 37 | | DO | 1634 | 50 | LU | 1642 | 35 |
| | | 1942 | | 80 | | | 1917 | 83 | | | 2018 | 60 | | 2200 | 66 |
| 4 | 0202 | 22 | 19 | 0136 | 16 | 4 | 0215 | 36 | 19 | 0340 | 28 | | | | |
| | 0844 | 90 | | 0815 | 105 | | 0947 | 91 | | 1039 | 105 | | | | |
| | MI | 1453 | | 42 | JU | | 1430 | 41 | | LU | 1728 | 49 | MA | 1743 | 33 |
| | | 2011 | | 71 | | | 1959 | 76 | | | 2118 | 59 | | 2318 | 67 |

Fuente: Dirección de Hidrografía y Navegación

2.2.1.3 Corrientes

Desarrollo Ambiental S.A. (2015) El sistema de corrientes frente a las costas del Perú tiene dirección hacia el norte y defiere del sistema de orilla, donde se presenta una variabilidad debido principalmente al perfil de los accidentes costeros, especialmente dentro de una bahía, el sistema de corrientes responde también a otros factores como las mareas, la batimetría, los vientos locales, etc. Esto hace que las corrientes dentro de las bahías, principalmente, sean muy variables y difíciles de describir.

Además, superpuestas a estas corrientes, está aquella que se produce debido al oleaje que, al aproximarse a la costa desde el Sur y Suroeste principalmente, genera corrientes litorales que son las más importantes en el transporte de sedimentos.

Esta corriente litoral, en general, es también hacia el Norte. Hay que tener mucho cuidado en identificar, caracterizar dicha corriente litoral, que en algunos casos al tener esta una gran dinámica, puede ocasionar procesos de erosión y sedimentación importantes al ser interrumpidos en su trayectoria.

Antes de iniciar el análisis, tenemos que diferenciar etapas o periodos de circulación que van a responder a las estaciones de invierno y verano y a periodos de mareas ascendentes y descendentes y fases de luna.

Durante el invierno, los vientos alisios son más intensos, lo que origina que el sistema de corrientes del Perú que se dirige hacia el Norte y específicamente la corriente costera peruana, al igual que el oleaje, va a ser más intensa y por lo tanto, la corriente costera peruana, al igual que el oleaje, va a ser más intensa y por lo que tanto, la corriente Norte va a ser predominante en las regiones costeras.

Sin embargo, existe la influencia de las mareas, que en el caso del Perú proceden del norte, los que pueden originar cambios en la circulación entre las pleamares y las bajamares.

2.2.1.3.1 Aspectos teóricos de las corrientes

Para poder analizar correctamente las corrientes en las áreas de interés, es necesario identificar los tipos de corrientes y las causas de generación de cada una de ellas. En tal sentido, a continuación, hacemos una descripción general, a fin de poder identificar aquellas corrientes que se producen en las áreas de estudio y discernir sobre la influencia, más o menos importantes, que tengan cada una de ellas sobre los diseños previstos.

En general, se puede definir a la corriente como el desplazamiento de una masa de agua por dos características: dirección y velocidad. Las corrientes para su estudio se pueden dividir en cuatro: corrientes oceánicas, corrientes locales inducidas por el viento, corrientes por marea y corrientes en la costa producidas por el oleaje. Aunque con relación a su ámbito

pueden clasificarse en corrientes locales y generales, en función de su relativa área de influencia. (p.11)

2.2.1.3.2 Metodología de determinación de corrientes

Fuentes (2001) afirma que, para el estudio de corrientes, se determinó efectuar una serie de estaciones ubicadas de tal manera que cubran el área de interés. Las mediciones de las corrientes superficiales y sub-superficiales se efectuaron teniendo en cuenta las fases de luna y el estado de la marea ascendente y descendente, utilizando la tabla de mareas del puerto. Para la medición de las corrientes marinas, existen diversos equipos, basados en dos métodos de medición:

El Lagrangiano que consiste en el seguimiento de un objeto que viaja con la corriente, y el método Euleriano que consiste en la medición del flujo de la corriente desde un punto fijo. El método Lagrangiano fue aplicado en la realización del presente trabajo. Las posiciones de las estaciones se toman utilizando dos teodolitos instalados en puntos de control con coordenadas conocidas. Los datos obtenidos son transferidos a una hoja de ploteo donde se calculan la dirección y la velocidad de las corrientes marinas. Pág. (110).

2.2.1.4 Olas

Para Desarrollo Ambiental S.A. (2015), la ocupación de un área acuática y la construcción o instalación de obras portuarias y emisarios submarinos, es importante contar con información sobre las olas del mar, en particular, es necesario conocer la naturaleza y frecuencia definidas por su período, altura y dirección de ocurrencia de las olas definidas por un periodo, altura y dirección.

Otro aspecto importante en las mediciones de olas en la costa es la modificación de su dirección, altura y velocidad que sufre el oleaje al acercarse a las playas, por efecto de la disminución de la profundidad del fondo marino y por la presencia de obstáculos (islas, rompeolas, etc.) que produce la refracción en la dirección del frente de olas.

La magnitud del oleaje, en el litoral, depende de la altura de las olas en aguas profundas y de la zona de rompiente, por lo tanto, es necesario conocer las áreas de incidencia de oleajes en el estudio.

Es vista que los cálculos de los datos de olas se efectúan mediante técnicas estadísticas, no es necesario registrar datos de olas en forma continua durante las 24 horas del día. Por lo general, se asume que las características estadísticas de las olas del mar, son constantes durante un número de horas. Dentro de este lapso se toma una muestra que sostenga el suficiente número de olas para que los parámetros característicos sean estables y representativos para este lapso.

2.2.1.4.1 Tipos de oleaje: Fuentes (2001) Se presentan dos tipos de olas en cuanto a su origen:

a. Sea (Olas de viento)

Son olas que están bajo la influencia del viento local que las origina, por lo general, son olas cortas de mucha pendiente y superficie muy confusa. Este tipo de olas no son muy significativas, se tomaron en cuenta en el presente estudio, debido a que en la zona de interés se presentan en periodos cortos y con gran amplitud.

b. Swell (Olas del Mar de Fondo)

Son olas que se originan en alta mar y viajan grandes distancias. Este tipo de oleaje es la fuente principal de las alturas de olas.

2.2.1.4.2 Refracción de olas

Guillermo Macdonel et al. (1999) afirman que, el oleaje al propagarse sobre la superficie del mar, va sufriendo deformaciones, por efecto del fondo o por el encuentro con obstáculos, los que originan en el primer caso el fenómeno de refracción y en el segundo el de difracción y reflexión.

De acuerdo con la teoría lineal del oleaje, se puede afirmar que la celeridad varía con la profundidad de la zona en donde se propaga, consecuentemente se producirá una variación en la longitud de onda.

El efecto que el fondo tiene sobre el oleaje es el de un freno y este tiene a deformarse adaptándose a la configuración de las curvas batimétricas.

Este fenómeno es similar al de la refracción de las ondas de sonido o de luz al pasar de un medio de una determinada densidad a otro de diferente.

En general, y a partir del punto donde este efecto de freno se hace notable, ocurre cuando la profundidad es igual a la semilongitud de onda, los frentes de onda sufrirán cambios en su alineación que tienden a hacerlos paralelos con los distintos escalones de profundidad representados por las líneas batimétricas.

El estudio del fenómeno de refracción del oleaje es de gran importancia para el proyecto de una obra marítima, ya que permite determinar las características del oleaje y de sus acciones, pues en general la información de oleaje, medida o inferida a través de los métodos de predicción, corresponde a la zona que hemos denominado aguas profundas por lo que será necesario trasladar hasta el sitio mismo de estudio.

Por medio del conocimiento de este fenómeno de refracción podremos conocer la altura de ola, ángulo de incidencia de la ola en la playa, sitios con concentración de energía, etc.

El cálculo de la refracción del oleaje se puede realizar, en la actualidad, mediante métodos numéricos y gráficos. En el primer caso, existen modelos matemáticos que resuelven el problema y que permiten establecer de manera más o menos precisa, las características del oleaje en el sitio que se desee. Los métodos gráficos son modelos aproximados que nos permiten llegar a resultados adecuados para la resolución de nuestros estudios. (p.60).

2.2.1.4.3 Proceso para elaboración del Plano de olas

Con planos obtenidos de la zona de estudios, se empezó realizando el trazo de ortogonales cerca al proyecto, líneas de mareas procedentes del sur, espaciando cada 1 cm teniendo un mínimo de 4 línea dibujas se formó una cuadrícula.

El trazo de las líneas ortogonales que parten de la cuadrícula, será hasta la zona del proyecto y llegaran a intersectarse con las curvas de nivel.

Se procedió a dibujar curvas de nivel intermedias.

Mediante una plantilla ortogonal se procedió a realizar los trazos correspondientes.

USO DE LA PLANTILLA DE REFRACCIÓN

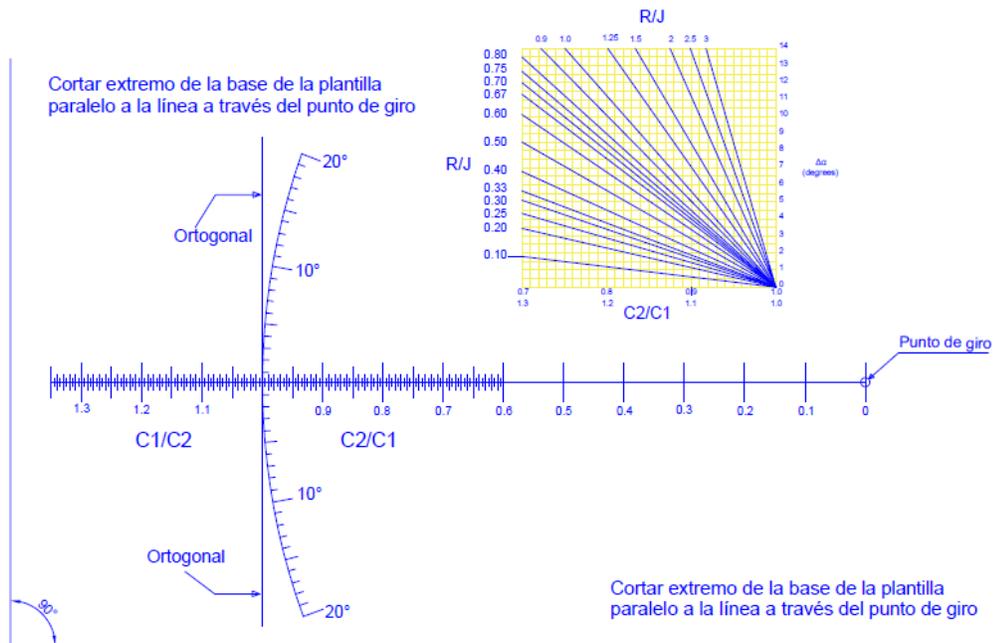


Figura 7. Plantilla transparente para la construcción del gráfico de refracción

Fuente: HIDROMAM EIRL

Esto permitió hallar el K_r (coeficiente de refracción) y K_s (coeficiente de cambio de profundidad)

$$kr = \sqrt{\frac{bo}{b1}}$$

bo = separación entre la primera y última línea ortogonal

$b1$ = Separación entre líneas ortogonales al fin del trazo

El K_s se obtiene teniendo en consideraciones el sailing directions.

TABLA SAILING DIRECTIONS PARA AMÉRICA DEL SUR - PERIODO 14 SEG

Tabla 2. Tabla de periodo de 14 seg. para el cálculo de Ks

| "d" Profundidad (m) | d/Lo | Ks | Tan h 2Pld/L | C1/C2 | C2/C1 |
|---------------------------|--------|--------|-----------------|-------|-------|
| 1 | 0.0035 | 1.8730 | 0.1435 | 1.399 | 0.715 |
| 2 | 0.0065 | 1.5890 | 0.2007 | 1.224 | 0.817 |
| 3 | 0.0098 | 1.4420 | 0.2456 | 1.156 | 0.865 |
| 4 | 0.0131 | 1.3477 | 0.2839 | 1.111 | 0.9 |
| 5 | 0.0164 | 1.2812 | 0.3154 | 1.089 | 0.918 |
| 6 | 0.0196 | 1.2316 | 0.3436 | 1.077 | 0.928 |
| 7 | 0.0229 | 1.1902 | 0.3702 | 1.066 | 0.938 |
| 8 | 0.0262 | 1.1572 | 0.3946 | 1.055 | 0.947 |
| 9 | 0.0294 | 1.1298 | 0.4165 | 1.051 | 0.952 |
| 10 | 0.0327 | 1.1061 | 0.4376 | 1.046 | 0.956 |
| 11 | 0.0360 | 1.0860 | 0.4577 | 1.040 | 0.962 |
| 12 | 0.0392 | 1.0680 | 0.4758 | 1.038 | 0.964 |
| 13 | 0.0425 | 1.0525 | 0.4938 | 1.034 | 0.967 |
| 14 | 0.0458 | 1.0388 | 0.5106 | 1.032 | 0.969 |
| 15 | 0.0491 | 1.0257 | 0.5268 | 1.028 | 0.972 |
| 16 | 0.0523 | 1.0151 | 0.5417 | 1.027 | 0.974 |
| 17 | 0.0556 | 1.0052 | 0.5564 | 1.026 | 0.975 |
| 18 | 0.0589 | 0.9961 | 0.5707 | 1.023 | 0.978 |
| 19 | 0.0621 | 0.9881 | 0.5838 | 1.023 | 0.978 |
| 20 | 0.0654 | 0.9806 | 0.5970 | 1.021 | 0.979 |
| 21 | 0.0687 | 0.9738 | 0.6095 | 1.020 | 0.980 |
| 22 | 0.0720 | 0.9676 | 0.6217 | 1.018 | 0.982 |
| 23 | 0.0752 | 0.9621 | 0.6331 | 1.018 | 0.982 |
| 24 | 0.0785 | 0.9569 | 0.6444 | 1.017 | 0.984 |
| 25 | 0.0818 | 0.9523 | 0.6552 | 1.016 | 0.985 |
| 26 | 0.0850 | 0.9481 | 0.6655 | 1.015 | 0.985 |
| 27 | 0.0883 | 0.9441 | 0.6756 | 1.015 | 0.985 |
| 28 | 0.0916 | 0.9405 | 0.6856 | 1.013 | 0.987 |
| 29 | 0.0948 | 0.9373 | 0.6947 | 1.014 | 0.987 |
| 30 | 0.0981 | 0.9343 | 0.7042 | 1.110 | 0.901 |
| 40 | 0.1308 | 0.9167 | 0.7820 | 1.075 | 0.931 |
| 50 | 0.1635 | 0.9130 | 0.8404 | 1.052 | 0.951 |
| 60 | 0.1962 | 0.9172 | 0.8841 | 1.037 | 0.964 |
| 70 | 0.2289 | 0.9258 | 0.9169 | 1.026 | 0.974 |
| 80 | 0.2616 | 0.9362 | 0.9410 | 1.002 | 0.998 |
| 90 | 0.2943 | 0.9470 | 0.9427 | 1.030 | 0.971 |
| 100 | 0.3271 | 0.9574 | 0.9713 | 1.029 | 0.972 |
| 200 | 0.6541 | 0.9981 | 0.9994 | 1.001 | 0.999 |
| 300 | 0.9812 | 0.9999 | 1.0000 | | |

Fuente: HIDROMAM EIRL

En la imagen, podemos apreciar la culminación del proceso descrito anteriormente.

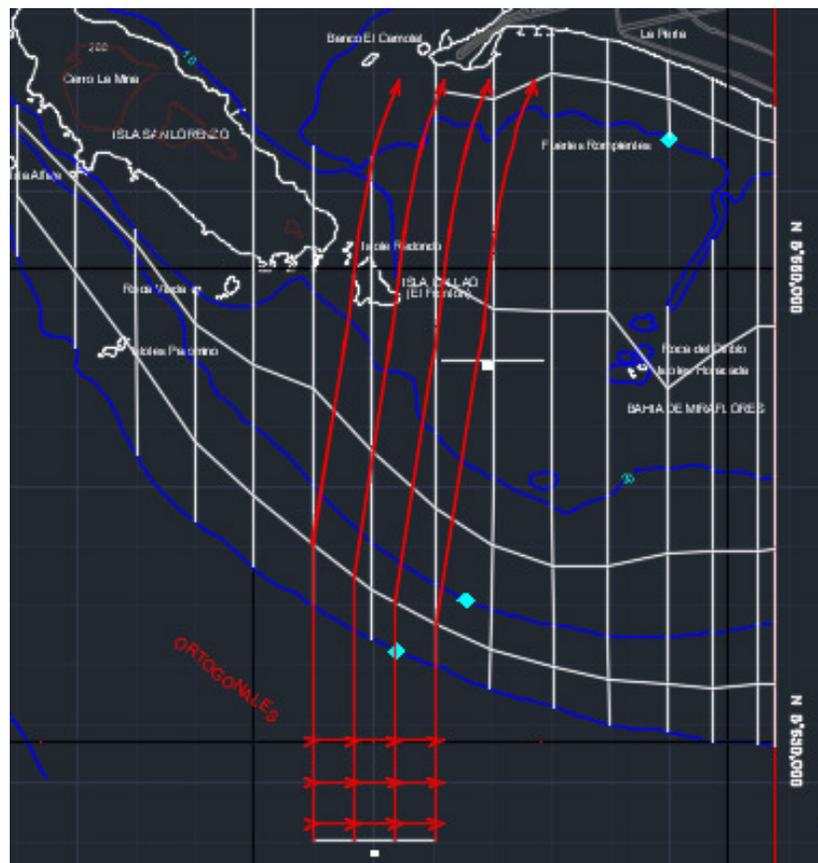


Figura 8. Refracción de olas provenientes del sur que insiden en el proyecto
Elaboración: Los autores

2.2.2 Diseño y partes de un muelle

2.2.2.1 Cálculo y dirección de olas

Según Sailing Directions for South América (2017), existen estudios de datos generales para la zona costera que nos permiten describir el comportamiento del oleaje.

En general, a lo largo del litoral peruano, el oleaje proviene principalmente del Sur y Suroeste. En el siguiente cuadro, se muestra el resumen

de las direcciones y alturas de ola predominante para la región comprendida entre los 10° y los 15° Sur. Este cuadro es muy general, pero nos permite una primera apreciación del rango de alturas de olas y de la dirección predominante de aproximación.

Tabla 3. Ocurrencia de altura y dirección del oleaje

OCURRENCIA DE ALTURA Y DIRECCION DEL OLAJE

(10° - 15° SUR)

| ALTURA | SUR | SUR-OESTE |
|---------------|--------------|------------------|
| (m) | (%) | (%) |
| 0.30 | 35.40 | 09.70 |
| 1.80 | 25.20 | 16.70 |
| 3.60 | 02.30 | 01.00 |
| TOTAL | 62.90 | 27.40 |

Fuente: Sailing Directions for South America

En general, a lo largo del litoral peruano, el oleaje proviene principalmente del Sur y Sur-Oeste. De acuerdo a esa información, las direcciones predominantes del oleaje están concentradas en el Sur y Suroeste, mientras que las demás direcciones ocurren con una probabilidad muy baja.

2.2.2.2 Altura de la estructura con respecto al NMBSO

Para saber cuál es la altura de la estructura se procedió a realizar los siguientes pasos:

1. Determinar la cota de un punto o BM, respecto a nivel medio de bajamares de sicigias ordinarias.

2. Determinar la profundidad o altura del mar, esto se procedió hacer con los datos obtenidos manualmente o por medio del ecosonda.
3. Mediante datos estadísticos por parte del HIDRINAV, se obtuvo la altura de las máximas mareas.
4. Se procedió a calcular el nivel máximo de olas, apoyándose de los portulanos y formulas.
5. Se dio un factor de seguridad de 1 m.

DATOS PARA DETERMINAR LA LONGITUD DEL PILOTE

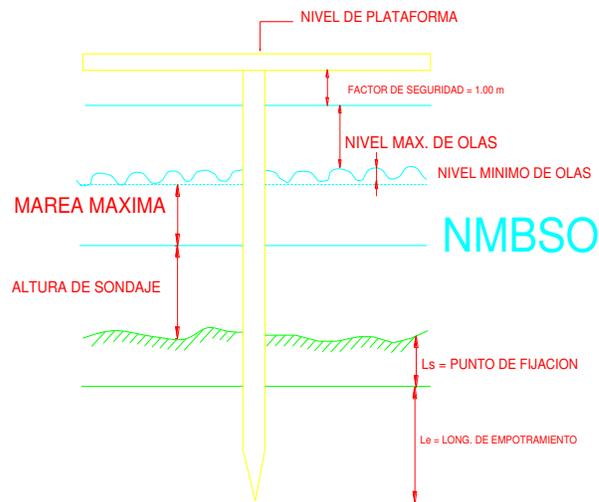


Figura 9. Factores que intervienen en la longitud del pilote
Elaboración: Los autores

2.2.2.3 Longitud del muelle

Para poder calcular la longitud del muelle, se tuvo que considerar el ancho de rompiente y la dirección de las olas. La dirección de las olas determinará la orientación del muelle mientras que el ancho de rompiente ayudará a saber la longitud que tendrá puente de acceso.

Para conocer la dirección del cabezo se tuvo que trazar la dirección de olas.

2.2.2.4 Partes del muelle

Fuentes (2001) a. Puente de acceso: Tiene como facilitar el tránsito de peatones y vehículos de la costa hacia el cabezo.

Su longitud varia principalmente para que las embarcaciones puedan fondear en el cabezo, debido a las características de la embarcación para las cuales se diseñara, se necesitara un mayor calado en consecuencia el puente tendrá que extenderse hasta alcanzar una profundidad deseada.

b. Cabezo: La parte más ancha donde termina el muelle. En este caso, la longitud del cabezo y su ancho estuvieron determinados, en forma perpendicular, y orientados a base de la función del servicio que presta el muelle, así como de su capacidad de solicitud. (p.432).

2.2.3 Diseño estructural del muelle embarcadero

2.2.3.1 Cálculo del pilote

Para Narciso (2003), los pilotes, son elementos relativamente largos y delgados respecto a su sección. Se emplean para transmitir las cargas a través de los estratos del suelo de baja capacidad de carga hasta suelos más profundos o estratos de roca, que posean una capacidad de carga más elevada. Se utilizan normalmente en terrenos en condiciones normales para resistir grandes fuerzas de elevación o en suelos en malas condiciones para contrarrestar las cargas horizontales. Los pilotes constituyen un medio de cimentación conveniente para obras sobre el agua, tales como muelles, pilares de puentes, etc.

En síntesis, podemos decir que el propósito sobre una fundación sobre pilotes es el de poder incrementar la capacidad de carga y reducir los

asentamientos que se producen por los esfuerzos a compresión a que está sometido el suelo de fundación.

Desde que se dio inicio al uso de pilotes en la cimentación, los ingenieros han venido aplicando estos en distintas maneras, dándoles diferentes usos según las necesidades propias que se requieren para cada edificación. (p.64).

2.2.3.1.1 Fundamentos de cómo trabaja un pilote

a. Carga (P). - Es la carga de servicio que debe absorber el pilote para satisfacer a la estructura.

b. Carga por fricción (Pf). - Es la Carga que se desarrolla entre el fuste (cuerpo, área lateral) del pilote y el suelo.

c. Carga por punta (Pp). - Es la carga que se desarrolla cuando al ir hincando el pilote, debajo de la punta de este, se va compactando el suelo; es decir se va confinando, y por lo tanto se va formando una punta del mismo suelo.

Es por ello, que algunos pilotes, dependiendo del suelo, no se fabrican con punta ya que el propio suelo compactado hace de punta.

2.2.3.1.2 Funciones y usos de los pilotes

a. “Lograr la transferencia de las cargas de la superestructura a través de estratos débiles y compresibles, hasta estratos inferiores (profundos) que ofrezcan la suficiente resistencia a la carga de diseño. (Pilotes de punta)

b. Transmitir o repartir la carga sobre un suelo relativamente suelto a través de la fricción superficial entre el pilote y el suelo (pilotes de fricción), y son usados en suelos cohesivos que presentan permeabilidad alta o baja, con granos gruesos o finos respectivamente.

c. Resistir levantamientos, volteos y fuerzas

d. Alcanzar profundidades de cimentación que se encuentran lejos de una erosión o socavación como es el caso de puentes y muelles, cuyos pilotes están constantemente expuestos a la socavación de las aguas.

2.2.3.1.3 Clasificación de pilotes

Para Fuentes (2001), los pilotes se construyen en una variedad de formas, tamaños y materiales para adaptarse a muchos requisitos especiales, incluyendo la competencia económica.

Aunque su variedad desafía las clasificaciones sencillas, los pilotes pueden clasificarse atendiendo a los distintos parámetros que los caracterizan, a continuación, procederemos a clasificarlos por el material que lo forman:

a. Pilotes de madera

Desde la antigüedad se han usado los troncos de los árboles sin descortezar como pilotes, proporcionando cimentaciones seguras y económicas. La longitud de este tipo de pilotes está limitada por la altura de los árboles disponibles. Son comunes los pilotes de 12 m a 18 m; longitudes mayores no se pueden obtener económicamente en todas las regiones.

Los pilotes de madera son fáciles de manipular y resisten bien el clavado.

Estos pilotes están condicionados a defectos de crecimiento del árbol del cual provienen; y su durabilidad depende de la clase de madera y las condiciones físicas a las que ha estado expuesto durante su desarrollo.

Para duros hincamientos, la punta del pilote es protegida con una zapata de metal, de otro modo es cortado un tanto puntiagudo, o reducido un tanto cuadrado. Por lo general hay limitaciones en el tamaño de la punta y el tope final, dependiendo de la magnitud de desalineamiento.

Cuando un pilote está sujeto al alternado humedecimiento y secado, la vida útil se hace relativamente corta, a menos que sea tratado con preservante.

El pilote de madera está sujeto a pudrimientos por ataques de insectos u organismos marinos, pudrimientos por abrasión marina y acción del fuego, este ataque generalmente ocurre en estructuras marinas. Tales daños pueden ser reducidos haciendo uso de maderas resistentes a estos ataques.

b. Pilotes de concreto

Fueron ideados poco después de 1900 debido al gran desarrollo industrial que dio origen a mayores construcciones pesadas, lo cual exigía un material que reemplace a la madera como elemento de pilotaje.

Desde entonces han aparecido numerosas variantes, y en la actualidad se dispone de gran variedad de pilotes de concreto según los requerimientos de obra.

Los pilotes de concreto se dividen en dos categorías principales: prefabricados y fabricados in situ.

Pilotes prefabricados. Pueden ser reforzados con acero convencional, para reducir las grietas por manipuleo e hincado y proporcionar resistencia a la flexión. Por lo general son instalados por clavado o inyección de agua. Tienen sección transversal circular, cuadrada, hexagonal u octogonal.

Las dimensiones de estos pilotes están limitadas alrededor de 0.50 m de diámetro, 25 m de longitud y 750 kN de capacidad de soporte de carga.

Son ampliamente usados para estructuras tales como embarcaderos, donde el pilote es requerido para ser cargado por sobre el nivel del suelo en forma de una columna estructural.

La principal desventaja de los pilotes de concreto pre-moldeado es el requerimiento de espacio y tiempo para el curado, manipuleo y transporte. Adicionalmente, el corte de pilotes de concreto puede retrasar el trabajo.

Pilotes fabricados in situ. Se subdividen en pilotes con funda y pilotes sin funda. En el tipo pilote con funda, un caparazón (forro de metal o tubo delgado) es clavado en el terreno, para luego ser llenada de concreto. La funda es de pequeño grosor, por lo que su resistencia se desprecia al evaluar la capacidad del pilote, sin embargo, no debe colapsar bajo la presión del terreno.

En el tipo pilote sin funda, el caparazón que ha sido hincado en el terreno se retira en cuando el concreto va siendo vertido. Este método reduce el costo de los pilotes.

La principal ventaja de los pilotes fabricados in situ radica en que no se produce daño en el pilote ni ruido asociado con el clavado del mismo.

c. Pilotes de acero

Para Fuentes (2001), los pilotes de acero, entre ellos los perfiles H, I, y rieles, son empleados cuando el hincado es fuerte, se tienen grandes cargas, o las longitudes son poco comunes.

Estos pilotes son instalados siempre por clavado, penetrando fácilmente en el terreno.

Su principal desventaja es el daño potencial por corrosión, el cual puede ser reducido tratando los pilotes con pintura anticorrosiva o enfundándolos con concreto. En los ambientes más hostiles, como es el caso del agua de mar, se emplea protección catódica.

Los pilotes de acero tienen una capacidad de soporte de carga algo más grande que los pilotes de concreto. Su alta resistencia y facilidad para el corte los hacen importantes.

Sin embargo, el empleo de pilotes de acero resulta mucho más costoso que las otras alternativas de piloteado. (p.183)

2.2.3.1.4 Cálculo de la capacidad de carga de pilotes

Según Narciso (2003) existen dos procedimientos principales para calcular la capacidad de carga de los pilotes hincados:

En primer lugar, por “MÉTODOS ESTÁTICOS”, utilizando los principios de la mecánica de suelos para calcular el rozamiento superficial (o adhesión), y la resistencia del extremo (punta) La base

Del método estático, es que, la capacidad final de carga de un pilote es igual a la suma de la resistencia en el extremo del pilote y de la adhesión máxima o rozamiento superficial entre el fuste del pilote y el suelo circundante. El método estático toma en cuenta también la “acción de grupo” de los pilotes, lo cual es un factor de suma importancia para los pilotes de rozamiento.

En segundo lugar, por “FÓRMULAS DINÁMICAS”, basadas en el principio de que la resistencia de un pilote a una posterior penetración está relacionada con la energía repartida sobre el pilote por medio del ariete o golpe del martillo usado para la hinca.

2.2.3.1.5 Análisis del comportamiento del suelo de cimentación

El pilote no puede ceder sin que se produzca un desplazamiento de por lo menos parte de la masa de suelo situada debajo del mismo; desplazamiento que se da hacia fuera y hacia arriba de dicha masa. Este movimiento es resistido por el peso (W) de la masa del suelo que rodea al pilote y por las tensiones tangenciales desarrolladas en los límites interiores y exteriores de la masa (f_s y C).

La intensidad de estas tensiones depende de la compresibilidad del suelo y de varios otros factores. Ahora bien, como la valuación de estas tensiones y de su influencia sobre la capacidad de carga es muy imprecisa; es preferible despreciarlas y calcular en forma separada el comportamiento del suelo.

Como el diámetro del pilote es pequeño comparado con su longitud, por lo menos parte de la carga es resistida por fricción y adherencia entre la superficie exterior del pilote y el suelo circundante,

de modo que la capacidad final de carga de un pilote hincada a una profundidad “DF”, puede ser expresada por la ecuación:

$$Q_f = Q_p + Q_r$$

Q_f = Capacidad final de carga

Q_p = Capacidad de carga por punta o resistencia de punta

Q_r = Resistencia por fricción o rozamiento.

2.2.3.1.6 Factor de seguridad

Lo anteriormente expuesto, hace referencia de la forma como hallar la capacidad final de carga del suelo para un pilote; esto quiere decir la capacidad máxima que tiene el suelo para soportar una carga hasta el mismo instante que se produce el fallo del terreno de fundación. (Resistencia a cizalladura)

Para efectos de la realización de proyectos, se suele afectar a esta capacidad final de carga por un factor de seguridad (FS), para así obtener la capacidad final de carga admisible o llamada también carga de diseño.

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE = CARGA DE TRABAJO X F.S.

Los criterios que se tienen en cuenta para elegir el factor de seguridad son:

- Variaciones naturales en la resistencia a la cizalladura del suelo.
- Las dudas en la exactitud o validez de los métodos empíricos o teóricos para calcular la capacidad de carga.
 - La pequeña disminución local de la capacidad de carga del suelo durante y después de la construcción.
 - Asentamientos excesivos causados por la inclinación del suelo cuando la cimentación se encuentra próxima a la falla en la resistencia a cizalladura.

- Debido al acomodo que sufre el suelo local al pilote, luego de cesar la hincada del pilote (este efecto está siempre presente en pilotes que trabajan a fricción)

No se pueden dar reglas generales que sirvan de guía para la elección de este factor de seguridad; toda la información para dicha elección viene de resultados y ensayos ya aplicados con anterioridad para circunstancias parecidas a la cimentación en estudio.

Lo que sí puede servir como un indicio para adoptar un valor razonable para el factor de seguridad es que: “A mayor información precisa, lo más detallada posible y actualizada, menor será el valor para el “FS” y viceversa en el caso contrario”.

Para Narciso (2003) se dan algunas referencias de FS, aplicadas en obras pasadas y que han dado resultados satisfactorios:

FS = 2; Deberá adoptarse, cuando se tenga buena información de primera mano, precisa y de buena fuente sobre el suelo de la cimentación que se está trabajando o cuando el suelo de la cimentación es lo bastante uniforme (suelos homogéneos), y presente características de comportamiento bastante conocidas.

FS > 2; Cuando la información del suelo de la cimentación sea insuficiente para determinar las características y comportamiento del mismo. Cuando el suelo de la cimentación es heterogéneo.

Debe indicarse que los factores utilizados en los cálculos para determinar las presiones de apoyo admisibles no pretenden cubrir por regla general, los incrementos accidentales de la carga de la estructura. Estos imprevistos han de considerarse al calcularse la carga superpuesta a los cimientos.

2.2.3.1.7 Capacidad de carga de grupos de pilotes

El efecto que produce las cargas para un solo pilote como para un grupo de pilotes puede ser tan distinto según sea el suelo de fundación como la distancia que separan a los pilotes que conforman la cimentación.

Para el caso de pilotes que se apoyan sobre estratos duros e incompresibles, el asentamiento del grupo de pilotes es igual al de un pilote individual bajo la misma carga de trabajo que cada uno de los pilotes del grupo esta solicitado.

Si los pilotes se hincan en un estrato de apoyo comprensible (arcilla firme), o relativamente comprensible (capa de arena densa que descansa sobre un estrato comprensible); entonces la capacidad de carga del grupo de pilotes puede ser mucho menor que la correspondiente a la suma de los pilotes individualmente considerados.

De todo lo anterior expuesto se puede resumir para fines de calculo que el número de pilotes necesarios para soportar la estructura, se podrá determinar dividiendo su peso total de carga solicitada entre la carga admisible del pilote.

“Se asegura que un grupo de pilotes no fallara sea cual fuese el terreno de fundación, cuando la carga total del proyecto sea menor a la capacidad de carga del grupo de pilotes entre tres” es decir:

$$Q(\text{proyecto}) \leq Q_{gp}/3$$

Donde:

Q_{gp} : Capacidad de carga del grupo de pilotes.

$Q(\text{proyecto})$: Capacidad de carga solicitada según el proyecto.

2.2.3.1.8 Grupos de pilotes en gravas y arenas

La acción de hincar pilotes en gravas y arenas provoca una compactación del suelo alrededor del pilote hasta un radio de por lo menos tres veces el diámetro del mismo. Es por ello que, los pilotes se hincan formando grupos en el que están poco espaciados, el suelo comprendido entre ellos y a su alrededor experimentan una compactación alta.

Cuando el grupo de pilotes se carga, estos y el suelo comprendido entre ellos se mueven como una sola unidad. De este modo, el grupo de pilotes actúa como un pilar de fundación con una base igual al área bruta ocupada por los pilotes.

2.2.3.2 Cálculo de fuerzas de olas

Son fuerzas tangenciales que se producen sobre la superficie de un fluido viscoso que tiende a arrugar la superficie del mismo. La fuerza de olas puede constituirse en un factor determinante del diseño por lo cual deberán llevarse a cabo el análisis y estudio detallado de las olas.

Las estructuras marítimas deben ser proyectadas para resistir las fuerzas horizontales del impacto de las olas, el arrastre de las corrientes superficiales y sub-superficiales que actúan sobre la estructura.

Las olas que impactan sobre una estructura provocan presiones que puedan ser muy grandes y se determinan empleando el método MININKIN.

La presión dinámica de la fuerza de olas es concentrada al nivel del agua tranquila, cuya fórmula siguiente es para la aplicación del método Mininkin:

$$P_m = \frac{101 H_b \cdot W_d}{L \cdot d \cdot D} (D + d)$$

Donde:

P_m = Máxima intensidad de presión de ola.

H_b = Altura de ola que apenas rompe sobre la estructura en pico.

W = Peso unitario del agua (lb / pie³).

D = Profundidad del agua

2.2.4 Efectos de erosionamiento y sedimentación

2.2.4.1 Erosionamiento

La erosión en el mar lleva a cabo su trabajo de destrucción del litoral principalmente por la acción de las olas y las corrientes producidas por ellas t en menor medida por las mareas. En la erosión intervienen varios factores relacionados con las olas, las mareas y las corrientes, la presión ejercida por el agua y el aire situado en las grietas de las rocas.

La acción del mar está determinada por la intensidad y fuerza de las corrientes, de las mareas y sobre todo de las olas. Es por esto que se trata de una acción que ejerce preferentemente en el litoral.

En los salientes, cabos, acantilados y promontorios, debido a la mayor fuerza de oleaje predomina la erosión, en las playas las olas pierden velocidad y depositan los materiales transportados. Los acantilados son una señal de que la acción marina es predominantemente erosiva mientras que playas, deltas, tómbolos y flechas nos indicaran que predomina la sedimentación.

2.2.4.2 Sedimentación

El transporte de sedimentos en el mar, es el fenómeno que se lleva a cabo a lo largo del litoral por medio del cual las partículas sólidas se transportan, se sabe que el arrastre de sólidos se produce principalmente entre

la línea de playa y la zona de rompiente, aunque también fuera de ésta existe transporte, las causas que provocan el transporte de sedimentos en las costas generalmente son provocadas por las corrientes y el oleaje, por consiguiente en la zona de playa la Punta no será afectado por la razón que las corrientes tienen su recorrido y dirección normal de transportar el sedimento en la alimentación de la zona de playa. Sin embargo, el oleaje al acercarse a costa, crea específicamente una zona de rompiente formando un ángulo con la orientación de la línea de costa casi nulo. En tal sentido, se hay que tener en cuenta el transporte de sedimentos por la zona con respecto a futuras obras portuarias, lo que podría ocasionar una deposición acelerada de sedimentos relativamente significantes.

2.3 Definición de términos básicos

BATIMETRÍA: Ciencia por cuyos métodos y técnicas podemos hacer medidas a las profundidades del mar.

CARTOGRAFÍA: Ciencia aplicada al estudio y trazo de los mapas geográficos.

GEODESIA: Ciencia que trata de la forma y dimensión de la tierra.

HIDROGRAFÍA: Es llamada también topografía marina o submarina, es la ciencia que estudia la configuración del lecho de los mares, lagos, ríos, etc. y las tierras adyacentes; con la finalidad de diseñar cartas de navegación, planos necesarios para los navegantes, ingenieros y técnicos de la ciencia del ambiente y la construcción.

METEOROLOGÍA: Ciencia que estudia el clima, así como sus diversas variaciones.

OCEANOGRAFÍA: Ciencia que estudia los mares, con sus fenómenos, su fauna y flora. Entre sus fenómenos tenemos las olas, corrientes, mareas.

PLAYA: Comprendida desde la línea de alta y baja marea.

TOPOGRAFÍA: Ciencia con la que podemos representar gráficamente el relieve de la tierra, con todos sus accidentes geográficos.

PLEAMARES: Mareas altas, es el momento en que el agua del mar alcanza su máxima altura dentro del ciclo de las mareas.

BAJAMARES: Mareas bajas, momento opuesto, en que el mar alcanza su menor altura.

EROSIONAMIENTO: es el desgaste de suelos y roas que producen distintos procesos en la superficie de la tierra.

SEDIMENTACIÓN: La sedimentación es el proceso por el cual los materiales solidos (partículas o granos) son transportados por las corrientes de agua hasta zonas que se conocen como cuencas sedimentarias (depresiones, embalses, canales, etc.).

DICAPI: Dirección general de capitanías y guardacostas

HIDRONAV: Dirección de Hidrografía y Navegación.

NMBSO: Nivel Medio de Bajamares en Sicigias Ordinarias

SONDALEZA: Cordel cuyo extremo se amarra un escandallo para sondar y medir una profundidad.

B.M.: Bench Mark o Punto de referencia, es un Banco de nivel de precisión.

FUNDA: Tubo de acero cilíndrico que se introduce en el terreno, proporcionando mayor rigidez, para formar un pilote de concreto armado. También llamada camisa, vaina.

CERC: Coastal Engineering Research Center o Centro de investigación de ingeniería costera.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration o Administración Nacional Oceánica y Atmosférica.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general:

La fuerza del oleaje interviene en el cálculo de longitud, orientación y altura del muelle embarcadero mejoran así su diseño.

3.1.2 Hipótesis específicas:

- a. La longitud del muelle será de 150 a 300 metros debido a la variación del ancho de rompiente.
- b. Se orienta el muelle con relación al sentido del oleaje lo cual mitiga los efectos de socavamiento.
- c. La estructura permeable, cuya separación de 3 a 8 metros entre ejes minimiza los daños en la morfología de la línea costera.

3.2 Variables

3.2.1 Variables independientes

- a. Establecer la formación de depósitos de sedimentos arrastrados por el mar.
- b. Establecer una adecuada estabilidad costera en el litoral del callao.
- c. Establecer un adecuado plan de seguridad ante los efectos de bravezas.

3.2.2 Variables dependientes

- a. Disminuir la erosión del litoral costero de la punta
- b. Disminuir los efectos de las bravesas del mar para minimizar los efectos de inestabilidad del litoral de la punta.
- c. Disminuir la deformación del perfil morfológico del suelo en casos de bravesas.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Diseño metodológico

4.1.1 Tipo de investigación: Investigación aplicada

Se propone la implementación de una carga de fuerza de oleaje que no es muy considerada para el diseño de estructuras portuarias en el Perú, dejando como referencia o guía para mejoras en el diseño de muelles. Se medirá la fuerza del oleaje y otros estudios oceanográficos con la finalidad de incluirlos en el diseño del muelle.

4.1.2 Diseño de la investigación: Explorativo cualitativo

Se propone el diseño explorativo cualitativo debido a que es un tema poco investigado, poco estudiado y poca bibliografía sobre el tema.

4.2 Técnicas de recolección de datos

En la presente tesis aplicaremos técnicas y métodos de ingeniería de puertos con las que obtendremos la información necesaria a fin de dictar parámetros para evaluar la factibilidad del muelle embarcadero en la punta.

4.3 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

Se inicia con el reconocimiento de campo luego se determina la cota de un punto o BM en la zona de referencia a nivel medio de bajamares en sicigias ordinarias.

Mediante el apoyo de la sondaleza o equipo de ecosonda se determina la profundidad y perfil del relieve submarino con el apoyo del GPS.

Después desde la embarcación se lanza el correntómetro para definir la trayectoria de sedimentos finos y con esta información presentar la estructura más permeable para no alterar la distorsión de la línea costera.

Luego de conocer las profundidades de la zona emplea los portulanos y datos estadísticos de altura de olas de 6 años información de DIHIDRONAV para realizar los trazos de olas y cálculo del coeficiente de refracción y calcular el valor de la fuerza de olas y sus dimensiones estructurales del muelle embarcadero.

4.4 Diseño muestral

En la presente investigación, se tomó en cuenta a las empresas con registro vigente en Dirección de Hidrografía y Navegación (HIDRONAV) siendo estas conformadas por:

- a. CANOPUS MARINE GROUP S.A.C.
- b. CESEL S.A.
- c. CONSULTORES HIDROGRÁFICOS Y AMBIENTALES S.A.C.
- d. COPAG
- e. DESARROLLO AMBIENTAL S.A.
- f. EVALUACION Y GESTIÓN S.A.C.
- g. GAPASH CONSULTORÍA INTEGRAL E.I.R.L.
- h. GGM ABASTECIMIENTOS Y SERVICIOS S.A.C.
- i. H & O INGENIEROS Y CONSULTORES
- j. HIDRA MAR S. A. C.
- k. HIDROMAM E.I.R.L.
- l. HIDROSURVEY Y MEDIO AMBIENTE SAC
- m. HIDROVER E. I. R. L.
- n. HYDROEVAL INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

- o. INBIOMA SAC (Instituto Nacional de Biotecnología y Medio Ambiente S.A.C.)
- p. INSTITUTO DE CONSULTORÍA S.A.
- q. MARINE GROUP S.R.L.
- r. REPRESENTACIONES JANYCAR
- s. SERVICIOS Y ESTUDIOS HIDRO- GRÁFICOS (SEHIDRO)
- t. XIMENA MINING GROUP S.A.C.

De las empresas que se mencionan, solo se tomaron en cuenta las dedicadas al diseño de muelles y que tengan registro vigente en HIDRONAV.

4.5 Aspectos éticos

En la elaboración del trabajo de investigación, se procedió con honestidad intelectual al respetar la autoría, diseños e ideas de las fuentes de información consultadas o utilizadas.

CRONOGRAMA

| ITEM | ACTIVIDAD | 2018 | | | |
|------|--|-------|-------|------|-------|
| | | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO |
| 1 | ELABORACIÓN Y APROBACIÓN DEL PLAN DE TESIS | X | X | X | |
| 2 | RECOLECCIÓN DE DATOS | X | X | | |
| 3 | ANÁLISIS DE DATOS | | X | | |
| 4 | PRESENTACIÓN DE RESULTADOS | | | X | |
| 5 | APROBACIÓN DEL BORRADOR DE TESIS | | | X | |
| 6 | SUSTENTACIÓN | | | | X |

Elaboración: Los autores

CAPÍTULO V

RESULTADOS

La investigación se determinó mediante análisis y cálculos, los parámetros de un muelle embarcadero. Los mismos que facilitarían el proceso de diseño.

5.1 Cálculo de altura de olas en el área de estudio

La altura de una ola en aguas poco profundas está dada por la siguiente fórmula:

$$H = K_r \cdot K_s \cdot K_d \cdot H_o$$

Donde;

K_r = coeficiente de refracción

K_s = coeficiente de cambio de profundidad

K_d = coeficiente de difracción

H_o = altura de ola en aguas profundas

Datos del cálculo de olas

$$K_{r10} = \sqrt{\frac{b_o}{b_1}} = \sqrt{\frac{3}{3.3}} = 0.9535$$

$$K_{s10} = 1.1061$$

$$H_o = H_s / (k_r \cdot k_s)$$

$$H_o = 3.41 / (0.894 * 0.982) = 3.88$$

$$H_o = 1.51 / (0.894 * 0.982) = 1.72$$

Cálculo de altura de olas para el área de estudio:

a. A 10 metros de profundidad

$$H = 3.88 / (0.9535 * 1.1061) = 3.69$$

$$H = 3.69$$

$$H = 1.72 / (0.9535 * 1.1061) = 1.63$$

$$H = 1.63$$

Cálculo de la altura de ola en la rompiente

Cálculo de H'_{o}

$$H'_{o} / H_o = K_r \quad \text{Donde: } H_o =$$

$$H'_{o} = 3.69 * 0.9535 = 3.52 \text{ (máxima)}$$

$$H'_{o} = 1.63 * 0.9535 = 1.55 \text{ (mínima)}$$

Entre la curva de nivel de 10 m y la costa se traza una línea media de 5 m, se toma esta profundidad como referencia a la profundidad medida en la visita de al campo de 4 m

Se mide con una regla 0.4 cm a lo cual se calcula la distancia escalada

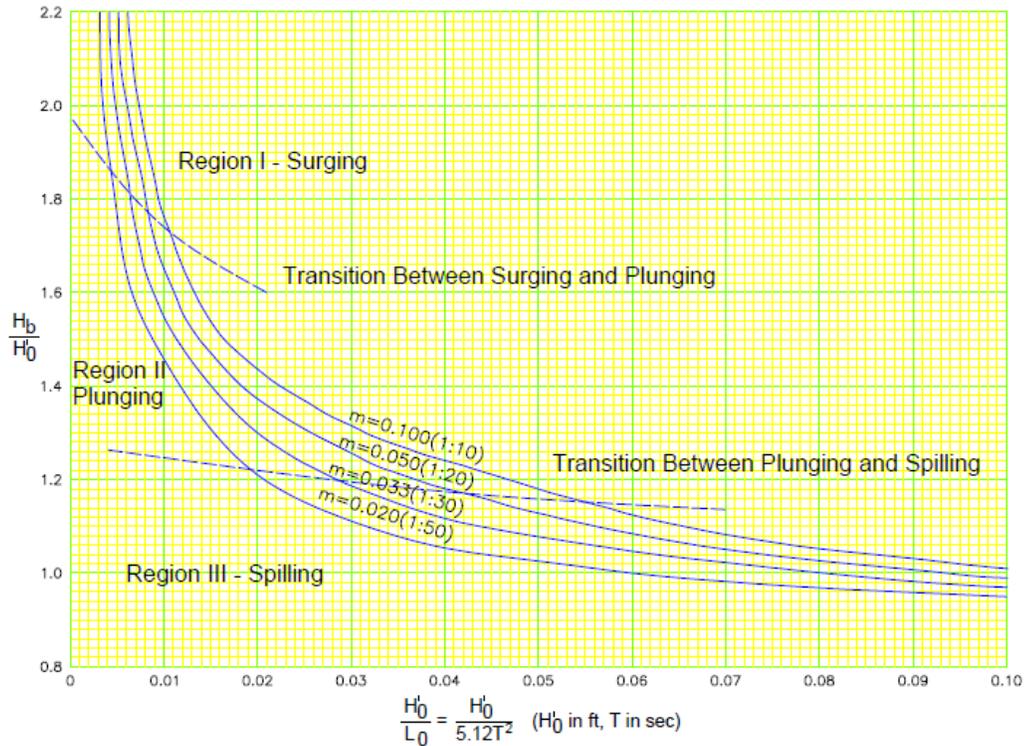
$$0.4 * 833 = 333.2$$

$$4 / 333.2 = 0.012 \text{ (pendiente)}$$

$$5.12 * 0.3048 = 1.56 \text{ m}$$

$$--- 5.12 / (1.56 * 14 * 14) = 0.017$$

Con esto se ubica en la siguiente gráfica, y se traza una línea que intercepte a curva de la pendiente correspondiente que en este caso es 0.012



NOTA: Referencia "Shore Protection Manual. Cerc."

Breaker Height Index Versus Deep Water Wave Steepness

Figura 10. Gráfico para calcular el H_b/H'_0 con respecto a la curva de pendiente
Fuente: Shore Protection Manual

Donde: $H_b/H'_0 = 1.52$

$H_b = 1.52 * 1.55 = 2.356$ (profundidad de rompiente en condiciones min).

$H'_0 = k r_{10} * h_o$

$H'_0 = 0.9535 * 3.52 = 3.36$

----- $3.36 / (1.56 * 14 * 14) = 0.01$

Con esto se ubica en la gráfica 1, y se traza una línea que intercepte a curva de la pendiente correspondiente que en este caso es 0.012

Donde: $H_b/H'_0 = 1.72$

$H_b = 1.72 * 3.52 = 6.0544$ (profundidad de rompiente en condiciones máx.)

Cálculo de la profundidad cuando rompe la ola

$$H_b / gT^2 = 2.356 / 1920.8 = 0.0012$$

Con esto se ubica en la gráfica 2, y se traza una línea que intercepte a la curva correspondiente a la pendiente 0.10

Distancia en que rompe la ola en condiciones normales

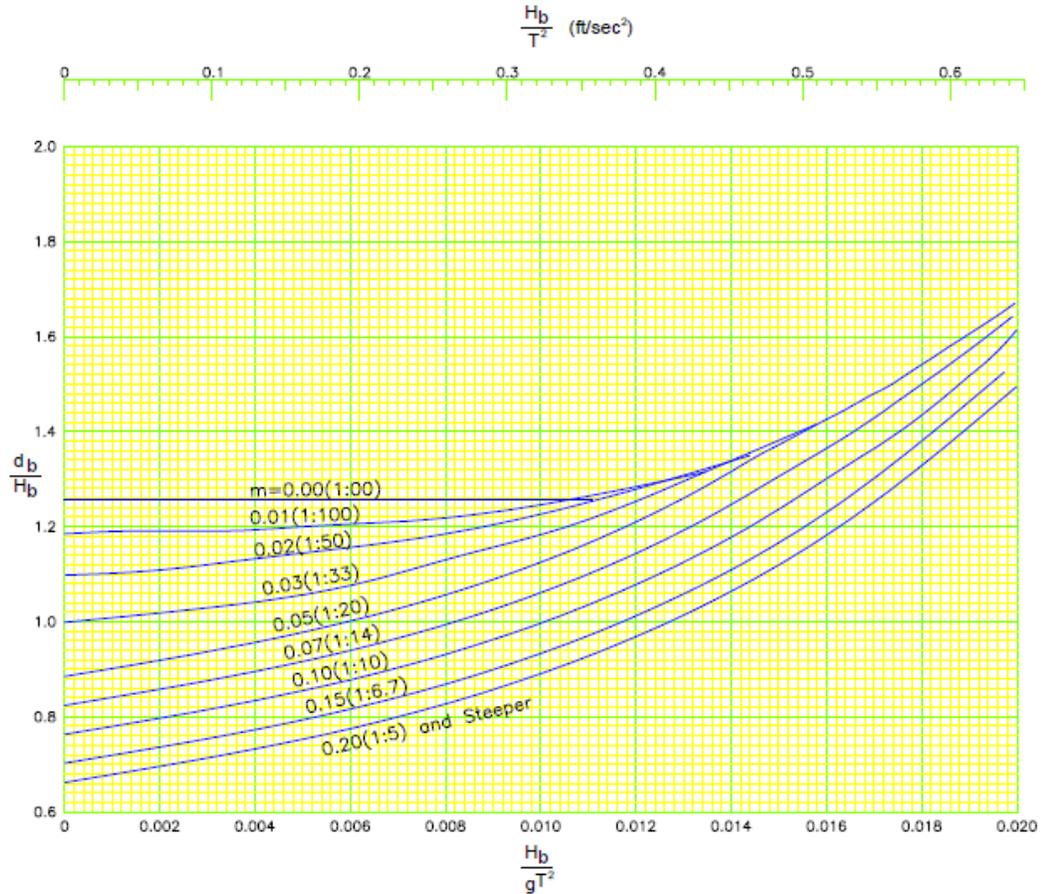
$$d_b / H_b = 0.75$$

$$d_b = 0.75 \times 2.356 = 1.77 \text{ ... profundidad}$$

$$= 1.77 / 0.010 = 177 \text{ metros distancia a la que rompe la ola}$$

$$H_b / gT^2 = 6.0544 / 1920.8 = 0.00315$$

Con esto se ubica en la siguiente gráfica, y se traza una línea que intercepte a la curva correspondiente a la pendiente 0.10.



NOTA: Referencia "Shore Protection Manual. Cerc."

Dimensionless Depth at Breaking Versus Breaker Steepness

Figura 11. Gráfico para calcular el d_b/H_b con respecto a la curva de pendiente
Fuente: Shore Protection Manual

Distancia en que rompe la ola en épocas de braveza

$$d_b/H_b = 0.8$$

$$d_b = 0.8 \times 6.0544 = 4.84 \quad \dots \text{Profundidad}$$

$$= 4.84 / 0.010 = 484 \text{ metros} \quad \dots \text{distancia a la que rompe la ola}$$

5.2. Cálculo de la longitud del muelle

Se tomará la menor distancia de rompiente calculada anteriormente: 177m

$$L_m = 177 + (1/3)177 = 236 \text{ metros}$$

La longitud del cabezo será de 15 m

$$L_t = L_m + L_c = 236 + 15 = 251 \text{ m}$$

5.3 Cálculo del pilote

LE= Longitud de empotramiento; ($LE=4 \cdot T$)

Lc= Nivel de plataforma + Profundidad de sondaje

$$L_c = 8.08 \text{ metros}$$

$$LE = 6.66 \text{ metros}$$

$$T = 65.52 \text{ pulgadas}$$

$$E = 15000 \sqrt{f'c}$$

$$E = 4,000,000.00 \text{ (libras/pulg}^2\text{)} \quad f'c = 350 \text{ kg/cm}$$

$$I = 3019.06 \quad (\text{pulg}^4) \quad I = \frac{1}{4} R^4$$

Nh= 10.00 Valor para Arena - Grava

$$T = 65.52 \quad \text{pulg.} \quad T = \sqrt[5]{\frac{IE}{Nh}}$$

Tabla 4. Valores representativos del coeficiente de módulo de sub grado horizontal

| | |
|----------------------------|---------------------------------|
| Nh (lb/pulg ³) | |
| 1.50 | Baja |
| 10.00 | Media Arena - Grava |
| 30.00 | Densa (Arena y limo inorgánico) |
| 0.40 | Sedimento |
| 3.00 | Orgánico Limo Orgánico |
| 0.20 | Turba |

Fuente: ACI - 543R-00

Para estos cálculos debe cumplirse que:

$$L/3 < LE$$

Nivel de Plataforma: 4.08 m

Profundidad de Sondaje: 4.00 m

Longitud de Empotramiento: 6.66 m

Longitud Total del Pilote: 14.74 m

Comprobando de la condición anterior:

$$4.25\text{m} < 6.66\text{m} \quad \text{OK! Por lo tanto, cumple la condición}$$

La Longitud Total del Pilote a Considerar será de 15 metros.

Resistencia del concreto a la hinca

f_t = Fuerza de Impacto

f'_c = 350 Kg/cm²

Por formula sabemos que:

$$f_t = 2080 \text{ RAIZ}(E/P) \quad \text{ton/m}^2$$

Donde:

$$E = \text{Energía del martillo en} \quad \text{tn} \cdot \text{m}$$

$$P = \text{Peso del pilote} \quad \text{tn}$$

Se debe cumplir que la tracción durante el hincado debe ser $f_t \leq f'_c/2$

Según tabla

Tabla 5. Catálogo de martillos Delmag para Hincado de pilotes

| | |
|--------|--------|
| D - 5 | R=500 |
| D - 12 | R=1250 |
| D - 22 | R=2200 |
| D - 30 | R=3000 |
| D - 44 | R=4400 |

Fuente: Delmag

Se escogerá el martillo a utilizar de la siguiente forma:

L=longitud del pilote

A=área del pilote

$$\gamma_{con} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = L \times A \times \gamma_{con} = 15 \times \pi \times 0.2^2 \times 2400 = 4523.84$$

$$R = Q/3 = 4523.84/3 = 1507.96$$

El peso del martillo Delmag D - 22 en hincado vertical es 2200 kg

E Max = M x H M = Peso del Pistón, H = Altura de Caída

$$M \quad 2200.00 \quad \text{Kg}$$

H = 2.50 m

E Max=5500.00 Kg - m

Cálculo de pérdida de Energía en el choque sobre la cabeza del pilote

$$E_p = \frac{E_{max} \times P \times (1 - \sigma^2)}{(M_p + P)}$$

$P = b \times d \times L \times \gamma_c$

d = 0.4 m, L = 16 m, $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$

P = 19301.945 Kg

P = 19.30 Ton

Pérdida de Energía

$E_p = 4628.68 \text{ Kg - m}$

Energía Útil

$E_o = E_{max} - E_p$

$E_o = 3871.32 \text{ Kg - mt}$

Usando la fórmula de Yard's and Docks

$f_t = 2080 \text{ RAIZ}(E/P)$

$f_t = 441.93 \text{ tn / m}^2$

Debe cumplirse: $f_t \leq f'_c/2$

$441.93 \text{ tn/m}^2 \leq 1750 \text{ tn/m}^2$ Por lo tanto cumple la condición

Calculo del Núcleo de Pilotes

Primero se calculará la Fuerza del oleaje:

5.4. Cálculo de la fuerza de olas por Minikin

$T = 14$ seg.

Longitud Onda = $1.56 (14)^2 = 305.76$ m

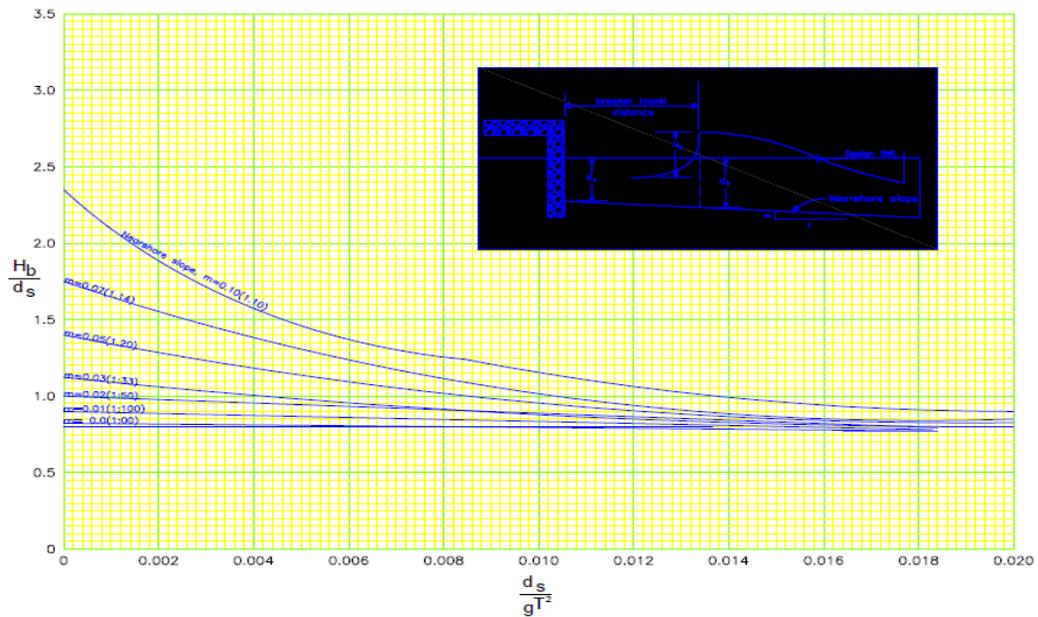
$d_s / L_o = 4 / 305.76 = 0.014$

Profundidad del agua a una longitud de onda de distancia será:

$D = 4 + 0.01 \times 305.76 = 7.058$ m

$d_s / g T^2 = 7,058 / (9.8 \times 14^2) = 0.004$

$H_b / d_s = 1.70$, $H_b = 1.70 \times 4 = 6.8$ m



NOTA: Referencia "Shore Protection Manual. Cerc."

Dimensionless Design Breaker Height Versus Relative depth at structure.

Figura 12. Gráfico para calcular la altura sobre la estructura

Fuente: Shore Protection Manual

Por la fórmula de Minikin, se calcula la presión máxima de LA Ola

$$P_m = 101 W (H_b / L) (d_s / D) (D + d_s)$$

$$P_m = 101 \times 1000 \times (6.8 / 305.76) (4 / 7.058) \times (7.058 + 4) = 14076,82 \text{ Kg / m}^2$$

La Fuerza de Ola será:

$$F = P_m \times (H_b / 3) = 14076 \times 6.8 / 3 = 31907.45 \text{ Kg / m} = 31.9 \text{ T/ m}$$

5.5. Cálculo del número de pilote en un núcleo

Fuerza de Olas

$$F = 31.9 \text{ T / m}$$

Peso del pilote

$$P = vol \times \gamma_{con} = \pi [(0.2)]^2 \times 15 \times 2.4 = 4.52 \text{ tn}$$

$$N = 31.9 / (4.825 \times 2.5) = 3 \text{ pilotes}$$

Los núcleos estarán formados por 3 pilotes

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

Diseño del Muelle

Se consideró los estudios Hidro-Oceanográficos para el diseño de la investigación, calculando la fuerza producida por el oleaje y orientando el muelle según la dirección del oleaje, debido a que esta es la parte que recibirá el mayor impacto de las olas y siendo no considerado en muchos casos.

Pilotes

Mucho de los ingenieros recomiendan realizar pruebas de cargas a escala en el lugar de estudio para estimar la capacidad de carga de un pilote debido a en la actualidad solo se basan en dos formas de calcular:

- a. Análisis estáticos, por medio de los datos de la mecánica de suelos.
- b. Análisis por dinámicos, por medio de datos referentes al hincado.

CONCLUSIONES

1. El diseño estructural presenta una mejora significativa con respecto a los principales parámetros de diseño de un muelle los cuales son la orientación, altura y longitud del mismo; orientando el cabezo del muelle con dirección al oleaje debido a que este debe de recibir el impacto ante la fuerza de olas, la altura y longitud del muelle se ve mejorada considerando los cálculos de mareas, la altura de olas y longitud de zona de rompientes.
2. Se comprobó mediante el cálculo de la rompiente la longitud del muelle embarcadero, siendo esta de 275 metros.
3. Mediante la orientación del muelle, se mitigará los efectos de socavamiento debido a que absorbe gran parte de la fuerza del oleaje disminuyéndolos.
4. La separación entre ejes del muelle es de 5 m. ayudando a que se forme una estructura permeable dando pase a los sedimentos en forma regular. El transporte de sedimentos es relativamente bajo, esto nos permite confirmar que el litoral no sufrirá un mayor impacto en su morfología.

RECOMENDACIONES

1. Se deben considerar los estudios hidro-oceanográficos en el diseño del muelle.
2. Para la toma de datos con respecto al perfil submarino es recomendable el uso de la Ecosonda puesto que se detalla el estudio con mayor exactitud que con un método mecánico a través de la sondaleza.
3. Al momento de hacer la medición de la profundidad con la Ecosonda es recomendable calibrar, puesto que algunos fondos marinos presentan fango para lo cual se realiza la primera y última toma con la sondaleza con fin de comprobar.
4. Para la medición del punto de Nivel Medio de Bajamares en Sicigias Ordinarias, se recomienda tener en consideración tomar como dato de variación de altura en un horario y día en el cual sea lo más visible posible.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas:

Alfaro, L. (2010), Perú, País Marítimo.

Aliaga, G (2009), Tesis de Aspectos Relevantes de Cimentación con Pilotes y Proceso Constructivo de Muelle Artesanal. Universidad San Martín de Porres, Lima.

Cárdenas, L. (2009), Plan Estratégico Puerto Industrial y Comercial.

Desarrollo Ambiental S.A. (2015). Estudio Hidro – Oceanográfico Ampliación del Desembarcadero y Muelle.

Fuentes, C. (2001), *Ingeniería Portuaria*. Lima, Perú: COPER.

Guillermo Macdonel et al. (1999), *Ingeniería Marítima y Portuaria*.

Iribarren, E (2013), Elementos para una nueva metodología de cálculos de diques verticales, universidad politécnica de Madrid, Madrid.

Maguiña M. (2018). Topografía Marítima y Estudios Hidro-Oceanográficos. Trabajo presentado en El Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, Lima, Perú.

Narciso, L (2003), Tesis de Estudio Definitivo en la Ampliación del cabezo del muelle pesquero de cerro Azul - Lima. Universidad Federico Villareal, Lima.

National geospatial – intelligence agency, (2017). Sailing Directions for South America.

US Army Corps of Engineers, (1984). Shore Protection Manual.

U.S. Army Corps of Engineers. (2015). ACI - 543R-00

Electrónicas:

Dirección de Hidrografía y Navegación. Datum de línea de más alta marea.

Recuperado de <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/otros/lam.pdf>

Ministerio de Justicia (2015). Ley N° 27943. Recuperado de

http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2073.pdf.

Municipalidad de La Punta (2018). Datos generales e historia de La Punta.

Recuperado de http://www.munilapunta.gob.pe/datos_generales.php

Wikipedia (2018). Provincia constitucional del Callao. Recuperado de

https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_constitucional_del_Callao

ANEXOS

- 1. Matriz de consistencia**
- 2. Panel fotográfico**
- 3. Transporte potencial de sedimentos**
- 4. Datum de línea de más alta marea**
- 5. Plano de olas**

Anexo N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

| MATRIZ DE CONSISTENCIA | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|
| PROBLEMAS | OBJETIVOS | HIPOTESIS | INDICADORES | MARCO CONCEPTUAL | METODOLOGIA |
| Problema General | Objetivo General | Hipótesis General | | | |
| ¿Cómo implementar la fuerza del oleaje al diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta callao? | Implementar la fuerza del oleaje al diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta. | La fuerza del oleaje interviene en el cálculo de longitud, orientación y altura del muelle embarcadero mejoran así su diseño. | <ul style="list-style-type: none"> * Estudios de olas, vientos y corrientes marinas * Estudios de altura de olas | <p>En la actualidad la actividad turística en la zona, se desenvuelve en las áreas de playa existentes, ofreciendo a los visitantes el servicio de los botes de paseo; por tal razón es de gran importancia dotar a la zona de infraestructuras e instalaciones portuarias que mejoren e incrementen el turismo del sector.</p> <p>En la presente Tesis aplicaremos técnicas y métodos propios de la ingeniería de costas y puertos, obteniéndose la información necesaria para establecer parámetros y evaluar la factibilidad de la construcción del muelle embarcadero.</p> | <p><u>Tipo de Investigación:</u> El enfoque de la investigación es aplicada ya que propone la aplicación de un estudio el cual no es muy considerado para el diseño de muelles.</p> <p><u>Diseño de la Investigación:</u> Exploratorio cualitativo, es un tema de investigación poco estudiado y existe poca bibliografía sobre el tema. <u>Muestra:</u> Estudio Hidro-Oceanográficos</p> <p><u>Instrumentos:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> a. Un nivel b. Sondaleza c. Correntómetro d. GPS e. Portulanos f. Tabla de Mareas g. Cota de alta Marea <p><u>Procedimiento:</u> Estudios Hidrográficos, cálculo de parámetros para el diseño del muelle.</p> |
| Problema específico | Objetivo Especifico | Hipótesis Especifica | VARIABLES | | |
| ¿Qué influencia tiene el ancho de rompiente del oleaje en el diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta callao? | Determinar la longitud para el diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta callao. | La longitud del muelle será de 150 a 300 metros debido a la variación del ancho de rompiente | <p>VI: Reducir la formación de depósitos de sedimentos arrastrados por el mar.</p> <p>VD: Reducir la erosión del litoral costero de la punta.</p> <p>VI: Brindar una adecuada estabilidad costera en el litoral del callao.</p> <p>VD: Reducir los efectos de las bravezas del mar para minimizar los efectos de inestabilidad del litoral de la punta.</p> <p>VI: Brindar un adecuado plan de seguridad ante los efectos de bravezas.</p> <p>VD: Reducir la deformación del perfil morfológico del suelo en casos de bravezas.</p> | | |
| ¿En qué medida afecta el socavamiento al muelle embarcadero? | Identificar el efecto de socavamiento del muelle embarcadero. | Se orienta el muelle con relación al sentido del oleaje lo cual mitiga los efectos de socavamiento | | | |
| ¿En qué medida afecta la estructura a la morfología en la línea costera? | Evaluar los cambios e impactos costeros producidos por el muelle. | La estructura permeable, cuya separación de 3 a 8 metros entre ejes minimiza los daños de la morfología en la línea costera | | | |

Anexo N° 2. PANEL FOTOGRÁFICO

Ubicación del estudio



Malecón Pardo



Enrocado



Área del Proyecto: Zona de rompiente de menor incidencia

Toma de datos



Marina de embarque



Toma de velocidad de vientos



Toma de velocidades superficiales mediante un flotador



Medición de corrientes sub-superficiales mediante un flotador unido con un lastre



Toma de puntos mediante GPS



Medición del fondo marino mediante la sondaleza

INSTRUMENTOS



GPS



Medidor de vientos



Sondaleza



Flotador



Portulanos: Curvas Batimétricas en zona de rompientes

Anexo N° 3. TRANSPORTE POTENCIAL DE SEDIMENTOS

(Chucuito – Callao)

GENERALIDADES

Las olas que llegan a nuestras costas, son generadas en aguas profundas bajo la presión del viento. La zona donde el oleaje se genera, se sitúa más o menos entre las latitudes 35° y 40° Sur, mientras que la longitud Oeste del centro de generación varía con mayor amplitud; es en ésta área donde se produce la mayor subsidencia atmosférica y consecuentemente divergencia del viento en superficie. Este tipo de oleaje (olas Swell, mar de fondo), viaja grandes distancias y son la fuente principal de magnitud del oleaje cuya incidencia determina la dinámica en las costas del Perú.

Para la ocupación de un área acuática y la construcción o instalación de obras portuarias y emisarios submarinos, es importante contar con información sobre las olas del mar, en particular, es necesario conocer la naturaleza y frecuencia de ocurrencia de las olas definidas por su período, altura y dirección.

Otro aspecto importante en las mediciones de olas, es el proceso que sufre el oleaje al acercarse a las playas, por efecto del fondo marino que produce la refracción y difracción en la dirección del frente de olas, modificando las características del oleaje proveniente de aguas profundas.

Como la magnitud del oleaje en el litoral, depende de la altura de las olas en aguas profundas y de la zona de rompiente, es necesario conocer las áreas de incidencia de oleajes en el ámbito del estudio, específicamente en la costa del área del proyecto, que se ubica en Chucuito, Callao.

En vista que el cálculo de los datos de olas se efectúa mediante técnicas estadísticas, no es necesario registrar datos de olas en forma continua durante las 24 horas del día. Por lo general, se asume que las características estadísticas de las olas del mar son constantes durante un número de horas.

Dentro de este lapso, se toma una muestra que sostenga el suficiente número de olas para que los parámetros característicos (Hs y Ts) sean estables y

representativos para ese lapso. En otras palabras, se debe calcular Hs y Ts de un grupo de olas lo suficientemente grande para que elimine las irregularidades que se presentan en un tiempo determinado. Además, se debe tomar un suficiente número de muestras del oleaje al día, para determinar la variación de los parámetros a largo plazo. Este es el caso se utilizó una estadística de 06 años de registro de olas del WaveWatch III en aguas profundas, para que luego, mediante métodos gráficos y fórmulas matemáticas, calcular las características de las olas en aguas poco profundas hasta la zona de rompiente.

CLIMA DE OLAS

La determinación de la climatología de las olas en el área donde se va a desarrollar el proyecto es uno de los factores más importantes a considerar, cuando se va a estudiar la dinámica del oleaje en las zonas costeras. El tren de olas al aproximarse a la zona costera sufre procesos de refracción, de fricción por el fondo y de ser el caso de difracción, lo que implica que el tren de olas vaya transformándose conforme se aproxima a costa, hasta llegar a un punto donde la energía de la ola es disipada, formándose la zona de rompientes. En la zona de rompientes, al disiparse la mayor parte de la energía de la ola, los sedimentos que estaban depositados en el fondo de la playa comienzan a ser removidos, iniciándose el transporte de sedimentos, lo que originará que se presenten zonas potenciales de erosión y sedimentación.

De esta manera, para la determinación del clima de olas en la zona de estudio, es necesario contar con registros de olas durante periodos largos de medición (mínimo un año), que permitan identificar las principales características de la dinámica del oleaje, donde se puedan observar las condiciones predominantes y la ocurrencia de eventos extremos. Sin embargo, la disponibilidad de registros por periodos largos para determinadas zonas del litoral son muy difíciles de conseguir, por lo que se tiene que emplear información que se encuentre disponible en las bases de datos globales o modelos numéricos regionales.

En ese sentido, la información de olas en aguas profundas que se ha tomado en consideración para desarrollar el trabajo, son las provenientes de la base de datos generados por el modelo de olas WAVE WATCH III de la NOAA, donde se encuentra disponible información del oleaje desde febrero del 2005 hasta febrero 2011 (Figura 021). La resolución de estos datos es de 0.5 x 0.5 grados.

Para corroborar la validez de los datos de olas del modelo WAVE WATCH III, se ha realizado la comparación de los resultados de olas del modelo, con la información del oleaje registrada por una de las boyas de la NOAA, ubicada en el la posición 19.5° S y 85.5° W.

En la Figura 0 se observan los resultados de la comparación, apreciándose que los resultados del modelo y los registros de la boya presentan características similares, como por ejemplo, se puede apreciar que la dirección predominante de olas es del Suroeste, con alturas significantes predominantes que se encuentra en el rango de 2 a 3 metros. Por otro lado, el periodo predominante se encuentra en el rango de 12 a 14 segundos.

Dado que los resultados del modelo WAVE WATCH III y la información de la boya NOAA, muestran características similares, se procede a extraer los datos del modelo WAVE WATCH III para la posición correspondiente a la coordenada 14.5° S y 79° W, ubicada en aguas profundas frente a la zona de estudio, y cuyos resultados son presentados en la Figura 02 y Figura 03, donde se aprecia lo siguiente:

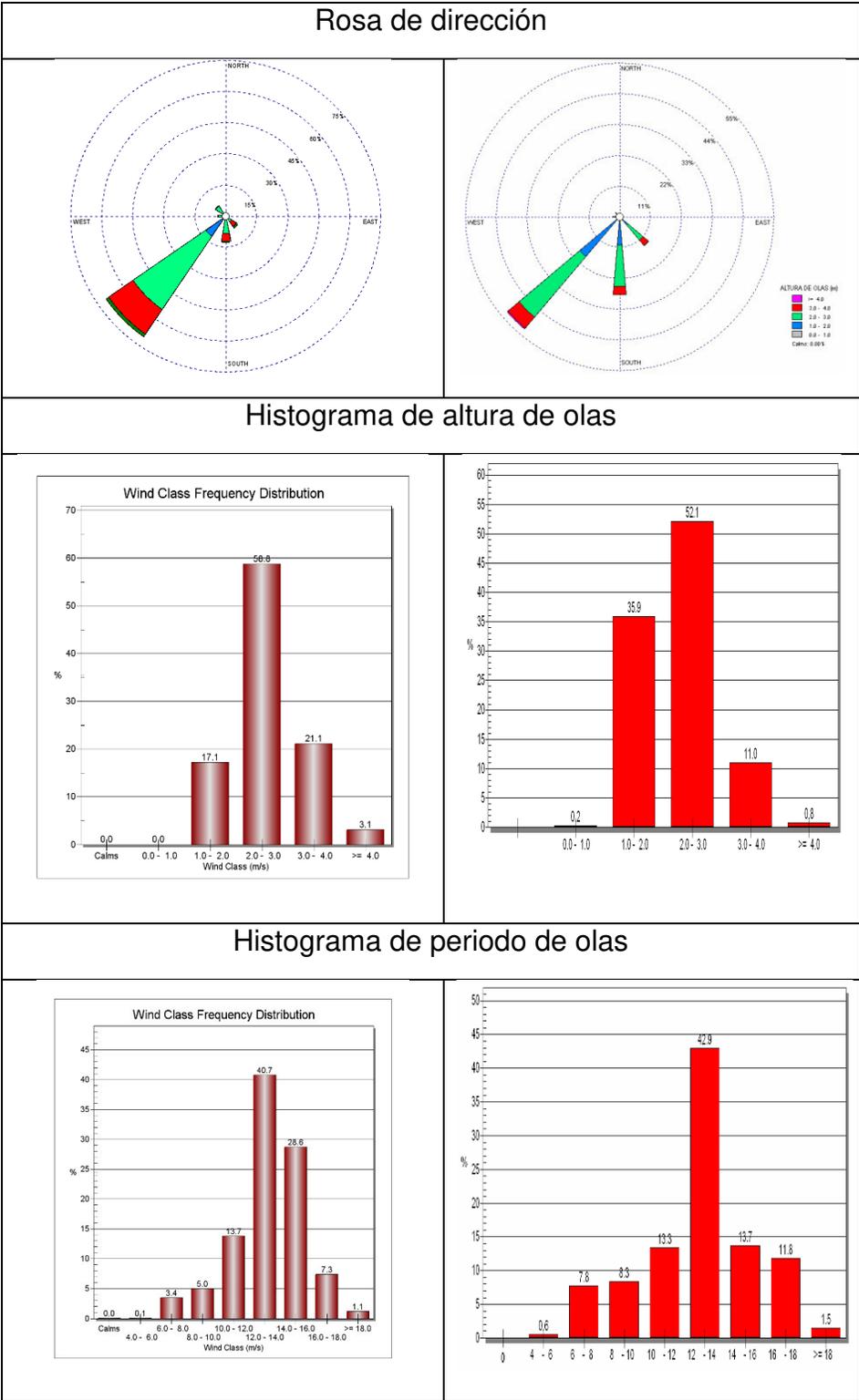


Figura 01.- Comparación del procesamiento de datos de olas del modelo WAVE WATCH III (izquierda) y los datos de la boya NOAA (Derecha) para el punto 19.5° S - 85.5° W

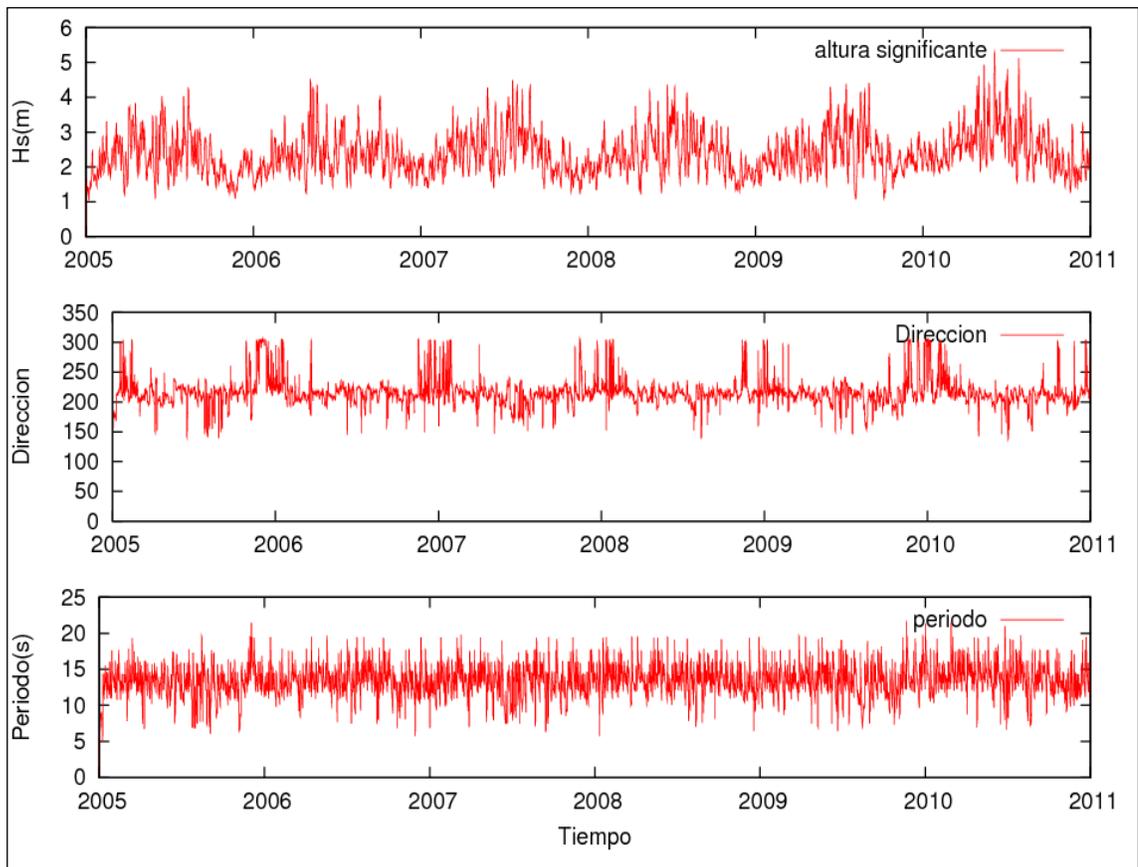


Figura 02.- Serie de tiempo del modelo WAVE WATCH III para el punto 14.5° S - 79.0° W. Fuente NOAA

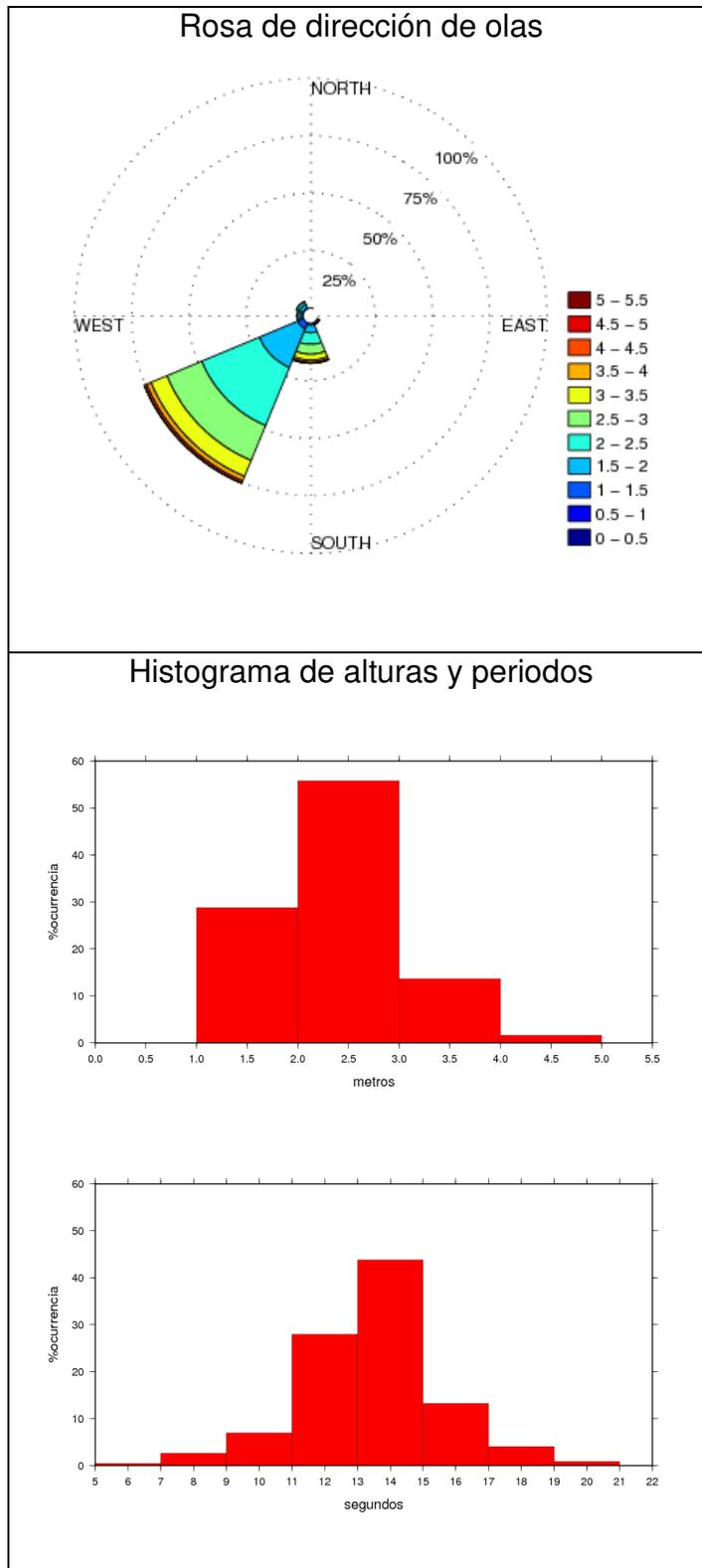


Figura 03. Resultados del procesamiento de olas para el punto 14.5° S - 79.0° W del modelo WAVE WATCH III.

TIPOS DE OLAS

Frente a nuestras costas se presentan dos tipos de olas teniendo en cuenta su origen:

SEA.- Son olas originadas por vientos locales, que se caracterizan por ser olas cortas de mucha pendiente y superficie muy confusa, este tipo de olas no se han tomado en cuenta para el presente informe, debido a que en la zona de estudio este tipo de olas es de muy corto período, poca altura y escasa ocurrencia.

SWELL.- Son olas que se originan en alta mar y viajan grandes distancias, este tipo de oleaje es la fuente principal de las alturas de olas cuya incidencia determina la dinámica de la costa de estudio.

CALCULO DE ALTURAS DE OLAS

El análisis del oleaje que se ha efectuado está basado entonces en la información del Modelo Numérico WaveWatch III que difunde el NCEP-NOAA y en los datos de las observaciones visuales efectuadas en el área de estudio. El método consiste en obtener los cálculos de altura y período de olas en aguas profundas. Con esta información y en base a la batimetría obtenida para la zona de interés, se proyectó el oleaje por el método de las ortogonales hasta el área de interés, y mediante diagramas de refracción aplicando la ley de Snell (Wiegler), se efectuó los cálculos de altura de ola utilizando los diferentes coeficientes de refracción y de cambio de profundidad correspondiente, en la zona de la costa donde se ubica el proyecto.

La altura de una ola en aguas poco profundas está dada por la siguiente fórmula:

$$H = K_r \times K_s \times K_d \times H_o$$

Dónde: K_r = Coeficiente de Refracción

K_s = Coeficiente por Cambio de Profundidad

K_d = Coeficiente de Difracción

H_o = Altura de ola en Aguas Profundas

De la clasificación de períodos promedios máximos $T = 14$ seg

La longitud de onda está dada por L_o en aguas profundas.

Reemplazando para una altura máxima registrada en la estadística de 6 años del WaveWatch, que corresponde a un estado de braveza de mar de 4.50 m del suroeste, y una altura significativa de 2.40 m, se obtiene:

Cálculo de Altura de Ola Incidente, Dirección Suroeste, Periodo 14 seg,

Profundidad 10 m

$$H = (0.8165) (0.9805) (1) (4.50) = 3.60 \text{ m}$$

$$H = (0.8165) (0.9805) (1) (2.40) = 1.92 \text{ m}$$

TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

El transporte de sedimentos en el mar o acarreo litoral, es el fenómeno que se lleva a cabo a lo largo del litoral por medio del cual las partículas sólidas se transportan; se sabe que el arrastre de sólidos se produce principalmente entre la línea de playa y la zona de rompiente, aunque también fuera de ésta existe transporte.

Por otra parte, es importante asentar que el principal objetivo en el estudio del transporte de sedimentos, es predecir si se tendrá una condición de equilibrio o existir erosión o deposición y determinar cantidades involucradas.

Las causas que provocan el transporte de sedimentos en las costas son básicamente las corrientes y el oleaje; provocando esfuerzos cortantes sobre los sedimentos sólidos y hacen que sean transportados en suspensión o por el fondo, a distancias más o menos grandes y depositados en zonas tranquilas.

El movimiento de sedimentos que se produce en la costa se realiza generalmente en dos zonas que son: la parte interior y la parte exterior. La parte interior se subdivide, a su vez, en dos zonas que se conocen como zona de rompiente y zona de playa.

DINAMICA DE LOS SEDIMENTOS DE FONDO

La cuantificación del transporte de sedimentos mediante fórmulas empíricas resulta a veces poco confiable, ya que existe un gran número de ellos, desarrollados por diferentes investigadores y bajo condiciones diferentes. Sin embargo, la mayoría de ellas coincide en el hecho de que la energía sobre la playa es la causa principal de este acarreo litoral.

Para la cuantificación del transporte de sedimentos, en este caso se ha utilizado la fórmula de CERC (Coastal Engineering Research Center, J.S.A.). CERC relaciona el transporte con la componente del flujo de energía sobre la playa y un coeficiente de proporcionalidad obtenido experimentalmente en modelos reducidos y en la naturaleza.

$$S = A \times E_a$$

Donde: $S =$ Transporte Litoral ($m^3 / \text{seg} / m$)

$E_a =$ Componente del flujo de energía sobre la costa

$A =$ Constante de proporcionalidad

$$E_a = E_o \times K_r \times \text{sen} \hat{o} \times \text{cos} \hat{o}$$

Por tanto: $S = A \times H_o^2 \times C_o \times K_r^2 \times \text{sen} \hat{o} \times \text{cos} \hat{o}$

Dónde: $K_r =$ Coeficiente de refracción en la parte exterior de la zona de rompiente

$\hat{o} =$ Angulo entre la cresta de la ola y la costa

$H_o =$ Altura de ola en aguas profundas

$C_o =$ Velocidad de la ola en aguas profundas

$A =$ Constante de proporcionalidad ya ha sido calculado por diferentes investigadores y es para nuestro caso de 0.025 (CERC)

Reemplazando se tiene:

Para el oleaje del Suroeste:

$$S = (0.025) (0.35)^2 (18.72) (0.1725)^2 (0.0698) (0.9976)$$

$$S = (0.000118) (365) (24) (3600)$$

$$S = 3,746 \text{ m}^3/\text{año}$$

Para el oleaje del Noroeste:

$$S = (0.025) (1.08)^2 (18.72) (0.3124)^2 (0.0698) (0.9976)$$

$$S = (0.00371) (365) (24) (3600)$$

$$S = 116,986 \text{ m}^3/\text{año}$$

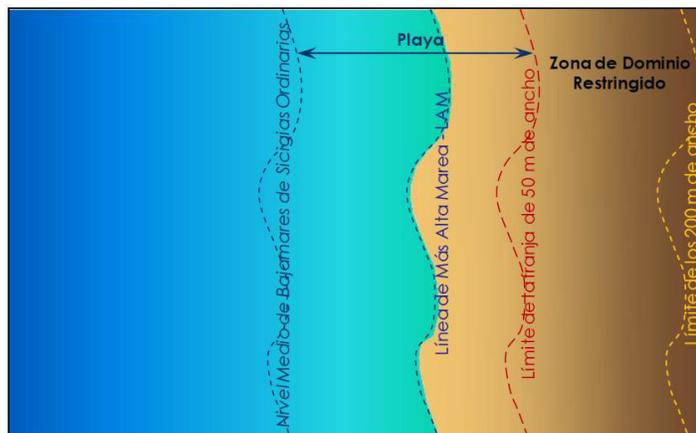
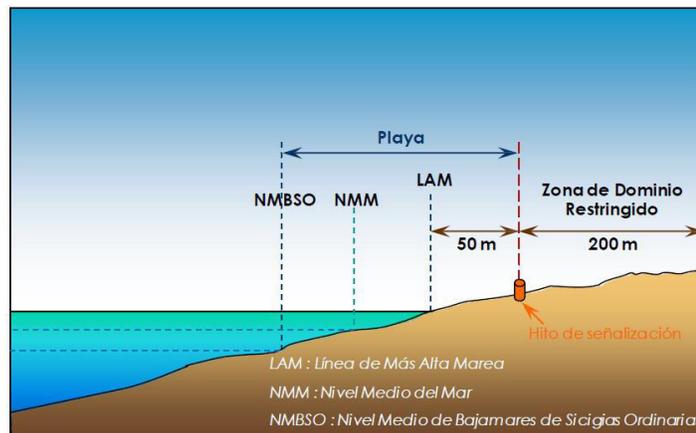
Total, de transporte: $3,746 (.935) + 116,986 (0.065) = 11,106.6 \text{ m}^3/\text{año}$

Por lo tanto, el transporte potencial de sedimentos utilizando la fórmula de CERC, para el área de estudio es de $11,106.6 \text{ m}^3/\text{año}$.

El transporte calculado entre la rompiente y la orilla, utilizando la fórmula de CERC, es bajo condiciones de máximo transporte. En términos generales, es un transporte potencial relativamente bajo, y está de acuerdo a la magnitud del oleaje en el área.

Anexo N° 4. DATUM DE LÍNEA DE MÁS ALTA MAREA

La Línea de Más Alta Marea (LAM), es aquella línea definida por el máximo valor de altura de marea astronómica observada históricamente, exenta de deformación por agentes externos extraordinarios, cuyo plano es interceptado en el terreno de la playa adyacente. Con la determinación de esta Línea, se establecen los límites jurisdiccionales, linderos y el diseño de estructuras en zonas costeras.



El Datum o Cota de la Línea de Más Alta Marea, está referida al Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (NMBSO), cuyos valores han sido calculados en base a la data histórica de las Estaciones Mareográficas de la Dirección de Hidrografía y Navegación instalados a lo largo de nuestra costa, dicha información incluye un ciclo nodal lunar (19 años).

| <i>Estación</i> | <i>Cotas LAM (metros)</i> |
|-----------------|---------------------------|
| El Salto | 2.57 |
| Cabo Blanco | 2.48 |
| Los Órganos | 2.51 |
| Talara | 2.43 |
| Paita | 2.20 |
| Lobos de Afuera | 1.92 |
| Malabrigo | 1.84 |
| Salaverry | 1.88 |
| Chimbote | 1.89 |
| Huacho | 1.52 |
| Callao | 1.45 |
| Pisco | 1.47 |
| San Juan | 1.40 |
| Atico | 1.50 |
| Matarani | 1.61 |

Las Cotas de Línea de Más Alta Marea que se muestran en el cuadro anterior son válidas en un área de 50 km a la redonda, para cada una de las estaciones indicadas. Asimismo, estos valores han sido actualizados y rigen a partir de la fecha de su publicación.

Si usted requiere la información de la cota LAM que se encuentre fuera del área de influencia mencionada anteriormente, deberá solicitarla, dirigiéndose al Jefe del Departamento de Oceanografía, cuyo correo figura en el ítem directorio de esta página web; caso contrario, deberá efectuar el cálculo de dicha cota, mediante una interpolación por distancia entre las dos estaciones más cercanas, siempre y cuando el área de estudio no sea una zona muy protegida o estuario donde la onda mareal pudiera amplificarse, para lo cual deberá efectuarse mediciones de mareas in situ y lecturas comparativas con la estación Mareográfica más cercana.