

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**RECOMENDACIONES PORTUARIAS PARA OBRAS
MARÍTIMAS DE ABRIGO, OBRAS MARINAS DE ATRAQUE
Y AMARRE**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

**CRISTHIAN CIRO MAYO CASAS
LUIS ALBERTO PERCA CALLOMAMANI**

Lima- Perú

2014

Esta tesis se la dedicamos a nuestros padres, quienes nos han apoyado a poder llegar hasta esta instancia de nuestros estudios, ya que siempre han estado presentes para apoyarnos moral y psicológicamente.

Asimismo, queremos agradecer profundamente a nuestro asesor el Ing. Cesar Fuentes Ortiz, por su increíble capacidad de transmitir motivación y pasión por la investigación y la ingeniería.

DEDICATORIA

Cristhian Mayo Casas

La presente tesis está dedicada en especial a mi madre, por múltiples razones, por haberme dado la vida y por darme fuerza en los momentos que más necesitaba, por siempre haber confiado en mí, por todos esos momentos de comprensión y paciencia es por ello que le dedico uno de mis logros más grande de mi vida.

A todos mis familiares quienes en casa siempre me alentaban y daban fuerzas para seguir adelante.

A mis grandes amigos quienes entre broma y broma me dieron la seguridad de poder concluir con esta nueva meta que me había propuesto.

A los ingenieros Cesar Fuentes Ortiz, Luis Domínguez Dávila, Hugo Maldonado Contreras, por apoyarnos constantemente y brindarnos sus conocimientos a lo largo de toda la tesis.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, institución a la que pude ingresar en el último puesto de vacantes el 2008 II, y que con mucho trabajo, esfuerzo, constancia y autodisciplina pude retirarme con el primer puesto de mi promoción en 2013 II.

A Dios, por guiarme, cuidarme y estar presente durante todo este camino de mi vida, el cual pude terminarlo con éxito.

DEDICATORIA

Luis Alberto Perca Callomamani

Quiero mencionar en estas líneas a todos aquellos que estuvieron de alguna u otra manera, animándome y alentándome, con una sonrisa, con una arenga y expresarme mi profundo agradecimiento por toda esa buena vibra, que me ayudo a poder completar este documento.

En primer lugar, la presente tesis está dedicada a mis padres. Por múltiples razones, por haberme dado la vida y por brindarme todos esos momentos de comprensión y paciencia. A ustedes, queridos padres, que les debo todo, les dedico el logro más grande de mi vida.

A Jeraldin, por el infinito apoyo y por todos los detalles que la hacen especial, por su optimismo frente a las adversidades, por su cariño y sobre todo por creer en mí.

A mis familiares y grandes amigos. Los que han estado conmigo en las buenas y en las malas, "mil gracias por todo!".

A los ingenieros Cesar Fuentes Ortiz, Luis Domínguez Dávila, Hugo Maldonado Contreras, por brindarnos su apoyo en todo momento, y proporcionarnos las herramientas necesarias para el desarrollo de la tesis.

Al ingeniero Ernesto Salas García, por ser un gran líder y por otorgarme la oportunidad de conocer en carne propia, la experiencia del trabajo en campo.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, institución a la que siempre añoré ingresar. Casa de estudiantes con grandes anhelos y con hambre de conocimiento y sabiduría. Gracias querida facultad por permitirme dar un paso más en mi vida.

A Dios, por guiarme y por permitirme cerrar un capítulo trascendental en mi vida. Gracias por otorgarme nuevos horizontes y desafíos.

ÍNDICE

RESUMEN	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I: CONCEPTOS GENERALES	1
1.1 ALCANCES	1
1.2 ESTADO DEL ARTE	1
1.2.1 Clasificación de las instalaciones portuarias.....	2
1.2.2 Principales puertos en el Perú.....	3
1.3 OBRAS MARITIMAS	8
1.3.1 Objetivo Fundamental.....	8
1.4 OBRAS DE ABRIGO	8
1.4.1 Rompeolas de Gravedad.....	9
1.4.1.1 <i>Rompeolas Verticales</i>	9
1.4.1.2 <i>Rompeolas en Talud</i>	10
1.4.1.3 <i>Rompeolas Mixtos</i>	11
1.5 TERMINALES DE ATRAQUE.....	12
1.5.1 Clasificación de acuerdo a su orientación.....	12
1.5.1.1 <i>Pantalanes</i>	12
1.5.1.2 <i>Malecón</i>	13
1.5.1.3 <i>Clasificación de acuerdo a la transmisión de cargas al terreno</i>	14
1.5.1.4 <i>Clasificación de acuerdo a su función</i>	17
1.5.2 Estructuras de contención del muelle	18
1.5.2.1 <i>Muros de Gravedad</i>	19
1.5.2.2 <i>Muros Pantalla</i>	24
1.5.2.3 <i>Entibados – Tablestacas</i>	27
1.5.3 Terminal de Boyas.....	29
1.6 SISTEMAS DE AMARRE	29
1.6.1 Las Bitas.....	30
1.6.2 Cornamusas	31
1.6.3 Disposición para puntos de amarre	31
1.7 OBJETIVOS Y FUNCIÓN SEGÚN TIPOLOGÍA	32
1.8 CONCEPTOS BÁSICOS	32

1.8.1	Consideraciones naturales	32
1.8.1.1	<i>Oleaje</i>	33
1.8.1.2	<i>Agitación del oleaje</i>	34
1.8.1.3	<i>Propagación del oleaje</i>	36
1.8.1.3	Transporte de sedimentos.....	36
1.8.1.4	Mareas.....	39
1.8.1.5	Tasa de renovación de aguas dentro de un puerto	41
1.8.1.6	Agua lastrada.....	43
1.8.1.7	Operatividad portuaria.....	43
1.8.1.8	Balizamiento	45
1.8.1.9	Cambios climáticos	47
1.8.2	Conceptos Hidráulicos y Marítimos.....	48
1.8.2.1	<i>Mecánica de olas</i>	48
1.8.3	Oleaje Regular.....	52
1.8.3.1	<i>Teoría lineal de Ondas</i>	54
1.8.3.2	<i>Energía del Oleaje</i>	55
1.8.3.3	<i>Teoría No lineal de Ondas</i>	56
1.8.4	Oleaje Irregular.....	57
CAPÍTULO II: GENERALIDADES DE DISEÑO		58
2.1	VIDA UTIL	58
2.2	ESTADO LÍMITE	60
2.2.1	Estado Límite de Servicio (ELS).....	60
2.2.2	Estado Límite Operativo (ELO).....	60
2.2.3	Estado Límite de Resistencia (ELR)	60
2.3	ESTADOS DE CARGA Y COMBINACIONES.....	61
2.3.1	Estados de Carga.....	61
2.3.1.1	<i>Clasificación de las Cargas</i>	61
2.3.2	Peso Propio.....	64
2.3.3	Empujes del Suelo.....	65
2.3.4	Cargas Hidráulicas	66
2.3.5	Sobrecargas.....	67
2.3.6	Sistemas de transporte y manipulación de carga.....	68
2.3.6.1	<i>Equipos fijos y montados sobre rieles</i>	68
2.3.6.2	<i>Fajas transparentes y tuberías</i>	69
2.3.6.3	<i>Grúas móviles</i>	70

2.3.6.4	Tráfico vehicular.....	70
2.3.6.5	Factor de impacto	71
2.3.6.6	Incrustaciones.....	71
2.3.6.7	Chutes y Tolvas	72
2.3.7	Efectos de las embarcaciones	72
2.3.7.1	Buque de Diseño.....	72
2.3.7.2	Cargas de Atraque	73
2.3.7.3	Carga de Amarre.....	78
2.3.8	Variación de Temperatura	78
2.3.9	Acción del Viento.....	79
2.3.10	Acción del oleaje	81
2.3.11	Acción de las corrientes marinas	81
2.3.11.1	Fuerza de Arrastre	82
2.3.11.2	Fuerza de Levantamiento.....	83
2.3.12	Cargas Sísmicas	83
2.3.13	Cargas Especiales.....	84
2.3.14	Análisis Sísmico	84
2.3.15	Combinación de Cargas	87
2.4	MÉTODOS DE DISEÑO	88
2.4.1	Diseño por resistencia	88
2.4.1.1	Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD).....	88
2.4.1.2	Diseño por resistencias Admisibles (ASD)	89
2.4.2	Diseño por Desplazamiento.....	89
CAPÍTULO III: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE ABRIGO		90
3.1	OBRAS DE ABRIGO	90
3.1.1	Criterio de Riesgo.....	90
3.1.2	Criterio económico.....	90
3.2	CLASIFICACIÓN DE OBRAS DE ABRIGO SEGÚN LAS OLAS.....	91
3.2.1	Los que impiden el paso del oleaje.....	91
3.2.2	Los que amortiguan el oleaje.....	91
3.3	TIPOLOGIA DE LAS OBRAS DE ABRIGO	92
3.3.1	Rompeolas Vertical	92
3.3.1.1	Clasificación de Esfuerzos	94
3.3.1.2	Modos Típicos de Falla	95
3.3.1.3	Calculo de estabilidad Estático.....	95

3.3.1.4	<i>Calculo de estabilidad Dinámico</i>	95
3.3.1.5	<i>Metodología de Diseño</i>	96
3.3.1.6	<i>Cama de Enrocado o Banqueta</i>	96
3.3.2	Rompeolas en Talud.....	97
3.3.2.1	<i>Influencia del clima marítimo en el diseño</i>	97
3.3.2.2	<i>Sección de un rompeolas en talud</i>	97
3.3.2.3	<i>Criterios de cálculo en la estabilidad de los rompeolas en talud</i>	99
3.3.2.4	<i>Reflexión de las estructuras en talud</i>	101
3.3.2.5	<i>Manto Principal o Coraza</i>	103
3.3.2.6	<i>Núcleo</i>	110
3.3.2.6.1	<i>Funciones principales</i>	110
3.3.2.7	<i>Manto Secundario</i>	111
3.3.2.8	<i>Filtro</i>	113
3.4	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA.....	114
3.4.1	Comportamiento de los agentes climáticos marítimos	114
3.4.1.1	<i>Criterios de selección en función a la profundidad.</i>	114
3.4.2	Comportamiento del terreno	115
3.4.2.1	<i>Criterios de selección en función de las propiedades del terreno</i> ...	116
3.4.2.2	<i>Criterios de selección frente a los requerimientos climáticos en el uso y la explotación</i>	116
3.5	ESPIGONES	116
3.5.1	Tipos de espigón	118
3.5.1.1	<i>Espigones Permeables</i>	118
3.5.1.2	<i>Espigones Impermeables</i>	119
3.5.2	Elección del Tipo de Espigón.....	119
3.5.3	Dimensiones de un Espigón	121
3.5.3.1	<i>Perfil – Altura y longitud del espigón</i>	121
3.5.3.2	<i>Espaciamiento entre espigones</i>	122
3.5.3.3	<i>Tamaño de los elementos que forman el espigón</i>	122
3.5.3.4	<i>Erosión</i>	122
3.5.4	Elementos a diseñar	122
3.5.5	Criterios generales para el diseño de espigones	124
3.5.6	Ventajas y Desventajas del uso del Espigón	125
3.6	RECOMENDACIONES PARA OBRAS DE ABRIGO	125

CAPÍTULO IV: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE ATRAQUE Y	
AMARRE.....	127
4.1 SELECCIÓN DE TIPOLOGIA ESTRUCTURAL.....	127
4.1.1 Criterios para la elección de la tipología estructural	127
4.1.2 Muelle transparente	130
4.1.2.1 <i>Muelle de pilotes</i>	130
4.1.2.2 <i>Conceptos para el diseño</i>	134
4.1.2.3 <i>Combinaciones de carga</i>	138
4.1.2.4 <i>Modos de falla más usuales</i>	138
4.1.3 MUELLES FIJOS CERRADOS.....	140
4.1.3.1 <i>Muelle de Gravedad</i>	140
4.1.3.2 <i>Estado de carga</i>	141
4.1.3.3 <i>Combinaciones de carga</i>	143
4.1.3.4 <i>Calculo de estabilidad</i>	143
4.1.3.5 <i>Muelle de Pantalla</i>	146
4.1.4 RECOMENDACIONES EN OBRAS DE ATRAQUE.....	149
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
5.1 CONCLUSIONES.....	150
5.2 RECOMENDACIONES.....	152
BIBLIOGRAFÍA.....	157
ANEXOS.....	159

RESUMEN

Los puertos que se localizan en la línea costera del Perú, juegan un rol muy importante en el país pues son el soporte a la importación y exportación de productos. Para su continuo desarrollo se requiere adecuadas condiciones de infraestructura y servicio y es por ésta y otras razones, que conceptos como el de normas o guías han sido planteados con el fin de generar un estándar nacional para orientar a proyectistas en el diseño de proyectos marítimos portuarios.

No obstante, tratar de delimitar el alcance de dichos conceptos para hacerlos aplicables a la infraestructura portuaria, puede ser una labor bastante exigente sujeta a la interpretación subjetiva de quienes definan cuáles sean los parámetros a medir.

En consecuencia, la presente tesis ofrece una propuesta en el establecimiento de recomendaciones portuarias que deberían usarse como referencia para obras de portuarias en el Perú, siendo una modesta contribución al país.

En síntesis, la tesis son las recomendaciones más realistas de las Normas Españolas (ROM), la guía portuaria de Chile y la Norma Inglesa, rescatando de ellas la adaptabilidad para el litoral peruano. La limitada experiencia la hemos resuelto con el asesoramiento de expertos portuarios del país, que han venido desarrollando proyectos portuarios y quienes con su largo recorrido profesional han contribuido grandemente en la calidad del presente trabajo.

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.1 Puertos marítimos peruanos	3
Figura N°1.2 Muelle Sur - Callao	4
Figura N°1.3 Muelle Norte - Callao	4
Figura N°1.4 Puerto Matarani	5
Figura N° 1.5 Puerto de Paita	5
Figura N°1. 6 Puerto de Salaverry.....	6
Figura N°1.7 Puerto General San Martín	6
Figura N°1.8 Puerto de Ilo	7
Figura N°1.9 Puerto de Chimbote	7
Figura N°1.10 Partes de una Obra de Abrigo.....	8
Figura N°1.11 Rompeolas Vertical	10
Figura N°1.12 Rompeolas en Talud	10
Figura N°1.13 Partes de un Rompeolas en Talud	11
Figura N°1.14 Rompeolas Mixtos.....	11
Figura N°1.15 Terminal de Atraque: Muelle	12
Figura N°1.16 Pantalán Discontinuo con atraque a un solo lado.....	13
Figura N°1.17 Muelle marginal.....	13
Figura N°1.18 Sección tipo de Muelle de Pilotes	15
Figura N°1.19 Tipos de Estructuras de Contención	18
Figura N°1.20 Muelle de Gravedad de Bloques.....	19
Figura N°1.21 Sección Tipo de Muro de Gravedad de Bloques	20
Figura N°1.22 Muro de Concreto Sumergido	21
Figura N°1.23 Sección Tipo Muro de Concreto Sumergido	21
Figura N°1.24 Muro de Cajones.....	22
Figura N°1.25 Sección Tipo de Obra de Atraque de Cajones.....	23
Figura N°1.26 Sección Tipo de Obra de Atraque de elementos en “L”.....	24
Figura N°1.27 Sección Tipo de Pantallas sin Plataforma superior de descarga....	25
Figura N°1.28 Pantalla de Tablestaca Metálica	26
Figura N°1.29 Pantalla de Concreto Armado.....	26
Figura N°1.30 Sección Tipo Pantalla con Plataforma superior de descarga.....	27

Figura N°1.31 Tipos de Tablestacas.....	28
Figura N°1.32 Sección Tipo de Tablestacas	28
Figura N°1.33 Tipos de Bitas	30
Figura N°1.34 Tipos de Cornamusas	31
Figura N°1.35 Movimiento del buque en las olas	35
Figura N° 1.36 Esquema del transporte de sedimentos.....	39
Figura N° 1.37 Tabla de mareas del litoral peruano.....	40
Figura N° 1.38 Registro de marea semidiurna en el Callao	41
Figura N° 1.39 Puerto del Callao	42
Figura N° 1.40 Gestión del agua de lastre.....	43
Figura N° 1.41 Esquema de un sistema de balizamiento	46
Figura N°1.42 Clasificación de acuerdo a la Profundidad Relativa	49
Figura N°1.43 Periodo – Energía de las Ondas.....	50
Figura N°1.44 Oleaje tipo SEA.....	51
Figura N°1.45 Oleaje tipo SWELL	52
Figura N°1.46 Términos elementales de una ola progresiva.....	53
Figura N°1.47 Oleaje Irregular de una ola progresiva	57
Figura N°2.1 Equipos sobre rieles y montados	69
Figura N°2.2 Faja Transportadora (TC)	69
Figura N°2.3 Grúas móviles en el puerto del Callao.....	70
Figura N°2.4 Características del camión llevando	70
Figura N°2.5 Estructura de soporte – Faja transportadora	71
Figura N°2.6 Chutes y Tolvas	72
Figura N°2.7 Nave de Diseño.....	73
Figura N°2.8 Condiciones de maniobra en función de la velocidad y tamaño	76
Figura N°2.9 Ilustración esquemática del atraque de una embarcación.....	77
Figura N°2.10 Fuerzas de arrastre producidas por el viento sobre un buque.....	80
Figura N°2.11 Dirección de las corrientes en el Perú	82
Figura N°2.12 Diagrama de flujo: Evaluación del comportamiento sísmico.....	86
Figura N°3.1 Funcionamiento de un rompeolas sumergido	92
Figura N°3.2 Rompeolas Flotante	92
Figura N°3.3 Dique Vertical.....	94

Figura N°3.4 Esquema del Dique Vertical.....	94
Figura N°3.5 Sección de un Rompeolas en Talud.....	98
Figura N°3.6 Modos de Falla Rompeolas en Talud.....	99
Figura N°3.7 Curva de Porcentajes de Piedras desplazadas.....	100
Figura N°3.8 Zona de Daño por el Oleaje.....	100
Figura N°3.9 Fallo Rígido.....	100
Figura N°3.10 Fallo Gradual.....	101
Figura N°3.11 Rotura Franca.....	103
Figura N°3.12 Rotura Falsa.....	104
Figura N°3.13 Componentes de los modos de Fallo.....	108
Figura N°3.14 Elementos de Concreto para el Manto Principal.....	109
Figura N°3.15 Propuesta de elemento de concreto para manto principal.....	109
Figura N°3.16 Espigones en Piedra.....	117
Figura N°3.17 Espigones unidos a la costa.....	120
Figura N°3.18 Espigones separados y paralelos a la línea de la costa.....	120
Figura N°3.19 Espigones separados e inclinados a la línea de la costa.....	120
Figura N°3.20 Separación del Espigón Perpendicular.....	123
Figura N°3.21 Separación del Espigón Oblicuo.....	124
Figura N° 4.9 Esquema General de un muelle con pilotes.....	131
Figura N° 4.10 Esquema básico de pilotes verticales.....	132
Figura N° 4.11 Esquema básico de pilotes inclinados.....	133
Figura N° 4.12 Esquema de pilotes verticales e inclinados.....	133
Figura N° 4.13 Superficie teórica del terreno.....	134
Figura N° 4.14 Esquema: Tipos de cargas en los muelles.....	136
Figura N° 4.15 Muelle Pantalla.....	147

LISTA DE TABLAS

Tabla N°1.1 Objetivos y Funciones según el tipo de estructura	32
Tabla N°1.2 Clasificación de las ondas por su periodo (Johnsonetal, 1978)	49
Tabla N°2.1 Vida útil de proyectos portuarios en el país.....	59
Tabla N°2.2 Pesos Unitarios de materiales de construcción	65
Tabla N°2.3 Sobrecargas estimadas ROM 2.0	68
Tabla N°2.4 Cargas de impacto vertical en estructuras portuarias.....	71
Tabla N°2.5 Definición basada en los efectos sísmicos a la estructura	87
Tabla N°3.1 Tabla Coeficientes de Reflexión según el tipo de estructura.....	102
Tabla N°3.2 Relación de pesos entre capas en función a sus ángulos rozamiento	112
Tabla N°3.3 Relación de pesos en función a sus capas sucesivas.....	113
Tabla N°3.4 Tipología conveniente en función a su altura	115
Tabla N°3.5 Tipología más adecuada en función a las propiedades del terreno.	116
Tabla N°3.6 Tipología más adecuada en función partición de energía.....	116
Tabla N°3.7 Tabla Coeficientes de Reflexión según el tipo de estructura	125
Tabla N° 4.2 Factores de seguridad mínimos.....	138
Tabla N° 4.3 Desplazamiento admisible para muelles	139
Tabla N° 4.4 Coeficientes de fricción estática	145

INTRODUCCIÓN

Existe una gran variedad de normas y recomendaciones en el mundo para el diseño y construcción de obras marítimas portuarias y que son propias de cada país. Éstas están orientadas a las particularidades de cada región en donde fueron desarrolladas. Es por ello, que al momento de tomar la decisión de que norma o recomendación usar, depende muchas veces del criterio de cada ingeniero y de las consideraciones que mejor se ajusten a las condiciones oceanográficas, sísmicas, geográficas y geotécnicas de la zona de estudio.

En el país, no existe una norma que presente recomendaciones y sirva de guía para el ejercicio profesional portuario, mucho menos una que se adecue a las condiciones propias de nuestro litoral.

Por ello, esta guía presenta un conjunto de recomendaciones, con el fin de ordenar los conceptos y los criterios técnicos de diseño, para orientar el alcance de funcionalidad y calidad de las obras marítimas portuarias.

La elaboración de la tesis principalmente consiste en estudiar la aplicación e idoneidad de distintas normas de importante prestigio internacional en obras de nuestro país, con el fin de generar un documento base que describa los criterios técnicos de diseño de infraestructura marítima a tomar en cuenta.

Este documento pretende facilitar el trabajo aportando información relevante para la realidad de nuestras obras y el entorno en donde se construyen.

A través de los capítulos, se va formando el esquema de la presente investigación, siendo el primer capítulo de conceptos generales de las obras abrigo y de las obras de atraque y amarre, el segundo sobre las generalidades de diseño de las mismas, el tercero y cuarto son de criterios de diseño para las obras de abrigo y las obras de atraque y amarre y el último de las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: CONCEPTOS GENERALES

1.1 ALCANCES

En el marco de las obras portuarias, encontramos una variedad de estructuras y elementos que conforman la infraestructura marítima en el territorio nacional, tales como: el pavimento portuario, obras de atraque y amarre, obras de abrigo y entre otras obras mayores y menores.

Este documento abarca las obras marinas de abrigo y las obras marítimas de atraque y amarre, dejando para futuras investigaciones, el resto del universo de elementos que conforman una infraestructura marítima.

1.2 ESTADO DEL ARTE

Perú, por ser un país costero, tiene en las instalaciones portuarias, un medio importante para el intercambio comercial nacional e internacional.

En la actualidad, se tiene más de 70 instalaciones portuarias de uso público y privado a nivel nacional, que han sido identificadas por la Autoridad Portuaria Nacional (APN) y de ellas, 45 son marítimas.

De Norte a Sur, las instalaciones se ubican en los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad, Áncash, Lima, Callao, Ica, Arequipa y Moquegua. En donde, los puertos y terminales portuarios son clasificados en nacionales y regionales.

Los puertos nacionales facilitan el transporte internacional de carga, pasajeros y de correos, así como el turismo y el comercio exterior. Sus operaciones generarán un movimiento económico en más de una región e integran un sistema intermodal o multimodal de transporte.

Los puertos regionales deben estar vinculados a proyectos de integración birregional, multirregional, macrorregional, binacional o continental. Teniendo

como objetivo, facilitar el transporte de carga, pasajeros y correo en tráfico nacional o cabotaje entre puertos peruanos.

1.2.1 Clasificación de las instalaciones portuarias

Según establece la Ley 27943 del Sistema Portuario Nacional (SPN), todos los puertos y terminales portuarios del SPN, se clasifican tomando en consideración cinco características:

- i. Por su Titularidad:
 - Público.
 - Privado.
 - Publico - Privado

- ii. Por su Uso:
 - General.
 - Exclusivo

- iii. Por su Actividad:
 - Especializado.
 - Multipropósito.

- iv. Por su Ubicación:
 - Marítimo.
 - Fluvial.
 - Lacustre.

- v. Por su Alcance:
 - Nacional
 - Regional

1.2.2 Principales puertos en el Perú

Existen varios puertos localizados a lo largo de sus 3070.5 km de costa en el océano Pacífico y son los mostrados en la fig. 1.1.



Figura N°1.1 Puertos marítimos peruanos

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

- Puerto del Callao

Es el principal puerto peruano, tanto el muelle Sur como Norte, vienen siendo sometidos a una ampliación que permitirá albergar naves y barcos que transportan contenedores, apreciándose en las figuras N° 1.2 y 1.3.



Figura N°1.2 Muelle Sur - Callao
Fuente: Autoridad Portuaria Nacional



Figura N°1.3 Muelle Norte - Callao
Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

- Puerto de Matarani

Es el segundo terminal más importante, ubicado en el departamento de Arequipa, mostrado en la fig. N° 1.4, es uno de los más modernos y mejor equipados del país.



Figura N°1.4 Puerto Matarani

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

- Puerto de Paita

Es el tercero, ubicado en Piura (figura N°1.5), ya tiene sumamente avanzada la construcción de un gran muelle para contenedores, se instaló una grúa pórtico, convirtiéndose en la primera que habrá en el país fuera del Callao.



Figura N° 1.5 Puerto de Paita

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

- Puerto de Salaverry

Es el cuarto más importante, mostrado en la fig. N° 1.6. Con las mejoras que se darán, será la gran puerta de salida hacia el mundo para la cuantiosa producción agroexportadora de la zona.



Figura N°1. 6 Puerto de Salaverry

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

- Puerto General San Martín

Es el quinto y se ubica en Pisco (figura N°1.7), el 81% de la carga de este terminal estatal, que está concesionado, corresponde a graneles sólidos.



Figura N°1.7 Puerto General San Martín

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

- Puerto de Ilo

Es el sexto, ubicado en Moquegua y se aprecia en la figura N° 1.8.



Figura N°1.8 Puerto de Ilo

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

- Puerto de Chimbote

El puerto ancashino (figura N° 1.9), es un terminal muy vinculado a la actividad industrial pesquera (producción de harina de pescado).



Figura N°1.9 Puerto de Chimbote

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

1.3 OBRAS MARITIMAS

En este capítulo se presentarán las obras de abrigo y las obras de atraque y amarre; así como, la clasificación de éstas. Esta clasificación será utilizada a lo largo de toda la presente tesis.

1.3.1 Objetivo Fundamental

Proporcionar a los buques, condiciones adecuadas y seguras para su permanencia en puerto y/o para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias necesarias para las actividades de carga, estiba, desestiba, descarga y transbordo de pasajeros y vehículos, y que permitan su transferencia entre buques, o entre éstos y tierra u otros medios de transporte

1.4 OBRAS DE ABRIGO

La sección tipo de una obra de abrigo se puede describir considerando las siguientes partes, detalladas en la figura N°1.10

- Cimentación, que determina la forma en que la estructura trasmite los esfuerzos al terreno.
- Cuerpo central, que controla la transformación del flujo de energía del oleaje incidente y transmite a la cimentación la resultante de las acciones.
- Superestructura, que controla el rebase sobre la coronación y, en su caso, ofrece un camino de rodadura.

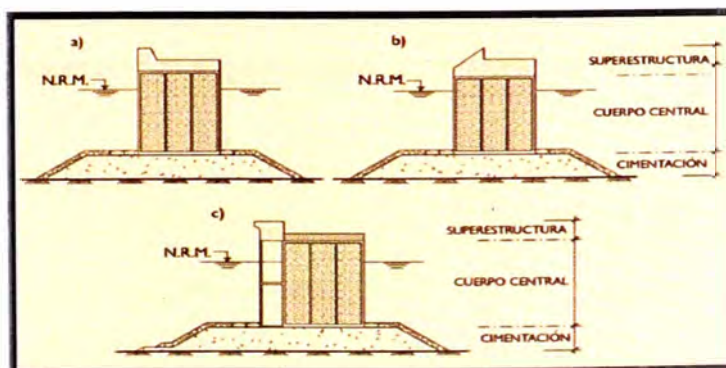


Figura N°1.10 Partes de una Obra de Abrigo

Fuente: ROM 2.0-11

Se clasifican en:

1.4.1 Rompeolas de Gravedad

1.4.1.1 Rompeolas Verticales

Este tipo de estructuras no son muy usadas en el Perú, ya que se necesita un suelo de buena capacidad portante para poder usarlas en forma de paralelepípedos, tal como se aprecia en la figura N°1.11,

Sin embargo por la falta de capacidad portante del suelo se usarían en forma de cubos para que así sean estables ante la fuerza sísmica, lo que no sería nada económico.

Son como una pared vertical, y que generalmente están formadas por cajones, bloques o pantallas, y que estos están apoyados sobre una banquetta de escollera de un cierto espesor. El oleaje produce esfuerzos sobre estos diques, estos esfuerzos son:

- Esfuerzo vertical ascendente (sub presión)
- Esfuerzo resultante horizontal, su duración está en función del periodo del oleaje y de las características del impacto de la ola contra la pared.

Para garantizar la estabilidad, es necesario que el peso del rompeolas en conjunto con el coeficiente de rozamiento contra la banquetta de escollera generen unos esfuerzos que garanticen un equilibrio y se obtenga la estabilidad deseada.

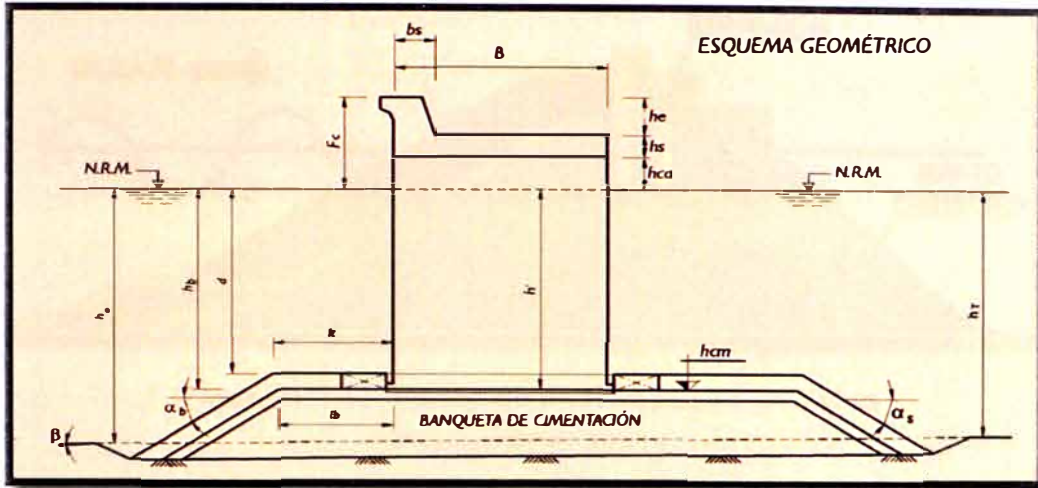


Figura N°1.11 Rompeolas Vertical

Fuente: ROM 2.0-11

1.4.1.2 Rompeolas en Talud

Es tradicionalmente llamado rompeolas o dique de escollera. Como se aprecian tanto en las figuras N° 1.12 y N°1.13, el cuerpo central consta de una secuencia de mantos conformando una transición entre el núcleo y el manto principal que, construido mediante piezas naturales o artificiales, es el elemento resistente de la acción del oleaje.

En el caso de fondo rocoso, para asegurar la estabilidad y la forma del talud es necesario construir una berma que proteja adecuadamente el terreno, la cimentación y, además, proporcione apoyo a los mantos secundarios y principal.

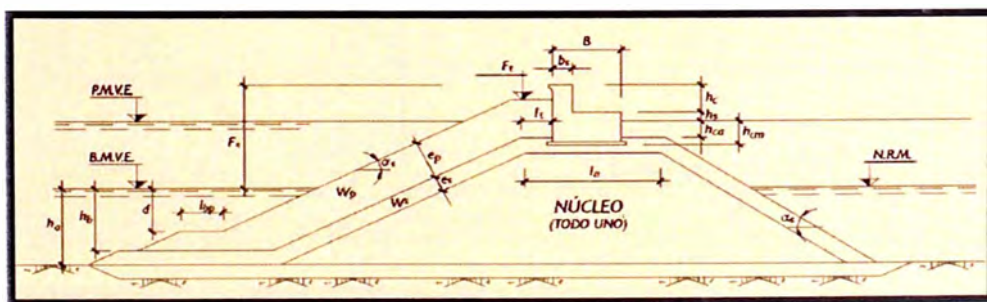


Figura N°1.12 Rompeolas en Talud

Fuente: ROM 2.0-11

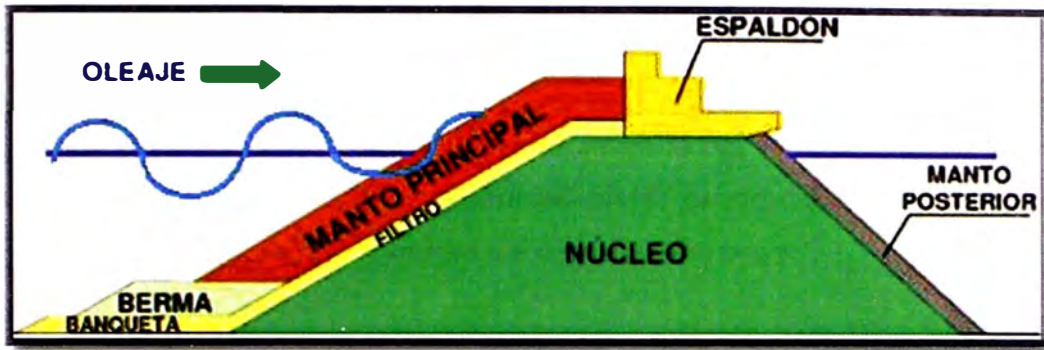


Figura N°1.13 Partes de un Rompeolas en Talud

Fuente: ROM 2.0-11

1.4.1.3 Rompeolas Mixtos

Este rompeolas no es usado en el Perú, consiste en una muralla vertical (o casi vertical). Esta muralla, apreciada en la figura N°1.14, se coloca directamente sobre el fondo del mar cuando la profundidad es relativamente débil.

Una característica fundamental de estos diques es que las olas se reflejan sobre la muralla en marea alta, mientras rompen contra el dique o contra el talud en marea baja.

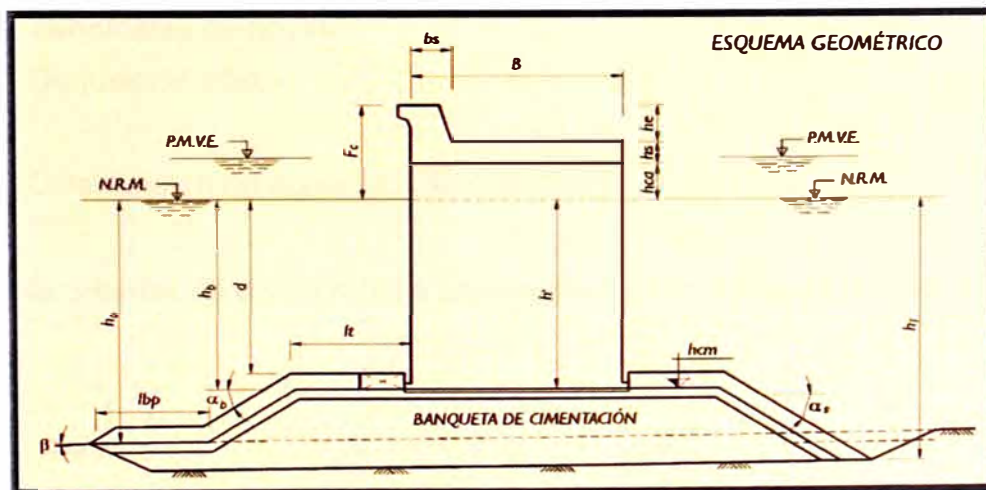


Figura N°1.14 Rompeolas Mixtos

Fuente: ROM 2.0-11

1.5 TERMINALES DE ATRAQUE

Consiste en una estructura, como se aprecia en la fig. N°1.15, la cual permite el atraque de los buques u otras embarcaciones; proporcionando una superficie horizontal apta para las operaciones de carga y descarga

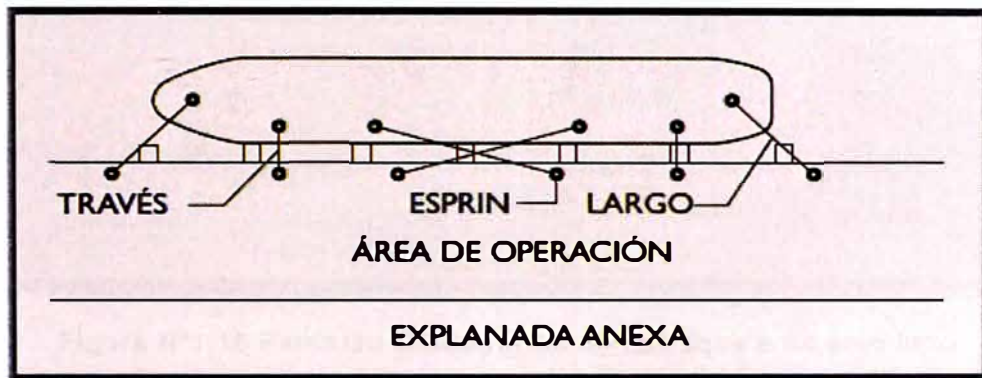


Figura N°1.15 Terminal de Atraque: Muelle

Fuente: ROM 2.0-11

De acuerdo a su tipología estructural las obras de atraque pueden clasificarse en:

- Muelles
- Terminales de boyas
- Duques de alba

1.5.1 Clasificación de acuerdo a su orientación

Según la orientación de un muelle con respecto a la costa es posible clasificarlo en:

1.5.1.1 Pantalanes

Un muelle Pantalán, apreciado en la figura N°1.16, también conocido como muelle de penetración es una estructura que se orienta perpendicularmente, o con un cierto ángulo, respecto de la línea de la costa hacia el agua.

Los pantalanes se definen como estructuras de atraque y amarre, fijas o flotantes, que pueden conformar líneas de atraque tanto continuas como discontinuas.

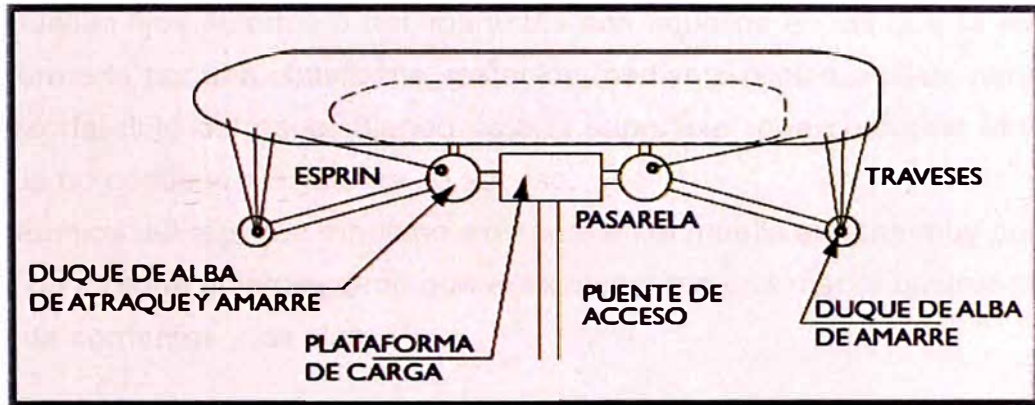


Figura N°1.16 Pantalán Discontinuo con atraque a un solo lado

Fuente: ROM 2.0-11

1.5.1.2 Malecón

Un muelle Malecón o también llamado muelle marginal es una estructura orientada normalmente paralela a la costa, tal y como se observa en la figura N°1.17.

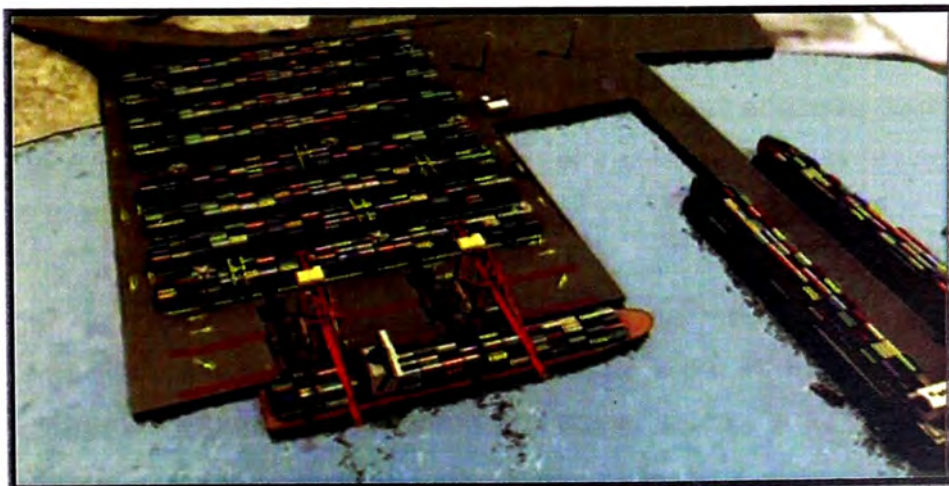


Figura N°1.17 Muelle marginal

Fuente propia

1.5.1.3 Clasificación de acuerdo a la transmisión de cargas al terreno

Muelles Fijos Abiertos

Los muelles fijos abiertos o transparentes son aquellos en las que la estructura está formada por una plataforma sostenida mediante pilotes o pilas, permitiendo el paso del flujo del agua. Siendo éste la superficie que conforma la línea de atraque no continuo o el puente de acceso.

Los cambios del régimen marítimo existente en el muelle afectan muy poco a las obras de atraque abiertas, dado que ellas presentan una menor obstrucción a los flujos de corrientes y las olas.

En función de la forma en que la estructura resiste las acciones y las transmite al terreno de cimentación se dividen en:

A. Muelles de pilotes

Estos muelles son llamados también muelles transparentes y su estructura resistente está formada por una plataforma sustentada en pilotes verticales y/o inclinados. Dicha estructura se aprecia en la fig. N°1.18.

En el caso de que exista un relleno adosado, esta puede complementarse con una estructura de contención de tierras y de unión con la plataforma en la coronación del talud. También pueden disponerse anclajes que unan la plataforma a los pilotes con el objeto de mejorar la capacidad resistente de la obra ante fuerzas horizontales.

Las cargas verticales son resistidas en este tipo de muelle por los pilotes, los cuales se apoyan en el suelo transmitiendo su carga por intermedio de la presión de punta. Cuando todos los pilotes son verticales, estas trabajan bajo esfuerzos axiales, cortantes y de flexión.

Los pilotes deben empotrarse en el terreno resistente la longitud necesaria para que la transmisión de cargas pilote-terreno reúna las debidas condiciones de seguridad.

Las fuerzas horizontales pueden ser resistidas por los momentos que se generan en los pilotes en el caso de muelles de pilotes verticales o a través de esfuerzos de tracción y por fuerzas de compresión en el caso de muelles que presenten cuplas de pilotes inclinados.

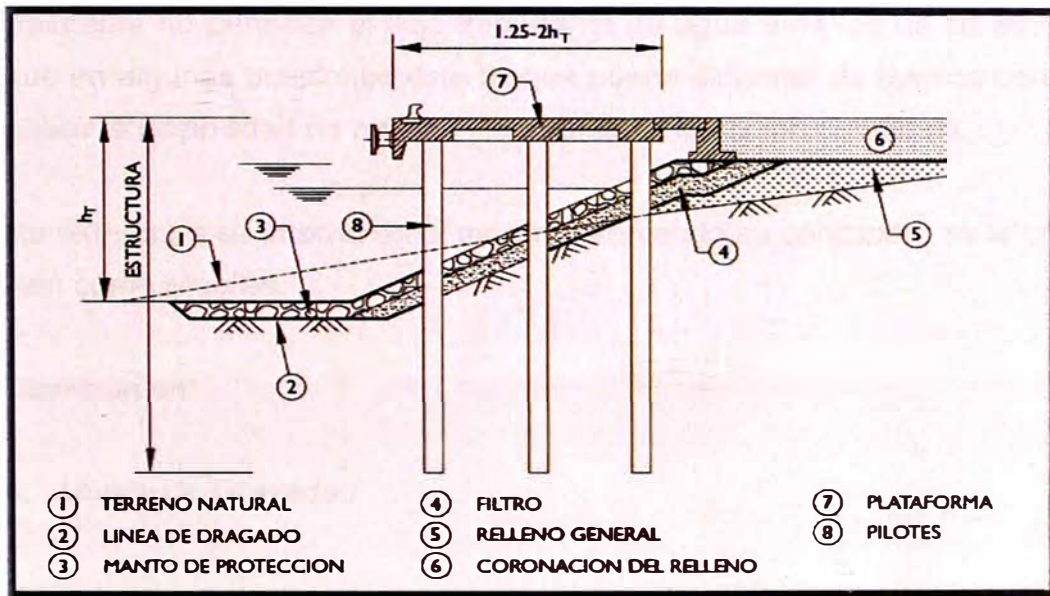


Figura N°1.18 Sección tipo de Muelle de Pilotes

Fuente: ROM 2.0-11

B. Muelles de Pilas

Generalmente son construidas por estructuras de gravedad y requieren suelos de elevada capacidad portante.

C. Otras Tipologías (Estructuras metálicas)

Otro tipo de obras fijas abiertas son los muelles apoyados en pilas y en estructuras metálicas rigidizadas en el plano horizontal mediante la disposición de elementos en celosía que se apoyan en el fondo mediante pilotes hincado. Su uso más común es el de plataformas marinas de investigación o extracción de petróleo aunque también se construyen como obras de atraque y amarre.

Muelles Fijos Cerrados

Los muelles fijos cerrados u opacos, son aquellos en las que la parte estructural es conformada por un bloque continuo vertical o cuasivertical de la línea de atraque desde la superestructura a la cimentación.

Normalmente no permiten el flujo importante de agua a través de su estructura. Aunque en algunas ocasiones este bloque puede disponer de huecos con objeto de reducir la posibilidad de reflexiones debidas a la acción del oleaje.

Si esta estructura se interna en el mar, manteniendo su condición, se le conocen también como Muelles.

Se Clasifican en:

A. Muelle de Gravedad

Su estructura resiste las acciones debidas a las cargas de uso y explotación mediante su propio peso transmitiéndolas al cimiento normalmente a través de una banqueta de cimentación de escollera.

Normalmente las estructuras de gravedad son usadas cuando el fondo del mar es de buena calidad y generalmente están constituidas por un muro de gravedad (Para mayor información ver el capítulo 1.5.2.1)

Por lo tanto este tipo de estructuras requiere suelos de cimentación de elevada capacidad portante, localizados en niveles accesibles. Estos suelos pueden ser tanto naturales como mejorados o procedentes de una sustitución

Pueden ser utilizados en roca, arena densa o arcilla dura. Si los asentamientos resultantes son aceptables pueden ser fundados en suelos débiles o si el suelo es dragado y reemplazado con un material granular o escombros. Los muros de gravedad son construidos detrás de una ataguía, en seco, y, por lo general, construido in situ, pero la mayoría de los muros están construidos en el agua por

un método utilizado sólo en las obras marítimas, en el cual grandes unidades prefabricadas son levantadas o transportadas flotando a su posición y son instaladas en una cama preparada bajo agua.

B. Muelle Pantalla

En los muelles de pantalla, la estructura transmite las fuerzas horizontales debido al terreno y parte de las cargas de uso, mediante su empotramiento o mediante el apoyo en el terreno de cimentación.

Generalmente están constituidas por un muros pantallas (Para mayor información ver el capítulo 1.5.2.2)

Esto permite el equilibrio de los empujes generados por el terreno de cimentación y por el relleno a ambos lados de la pantalla, combinados con la acción o reacción de los anclajes.

La capacidad resistente de la estructura radica fundamentalmente en su capacidad de resistir los esfuerzos de flexión y cortante que se generan a lo largo de la misma.

Esta estructura se recomienda construir en terrenos arenosos y limosos, también se puede utilizar en terrenos cohesivos blandos. No se recomienda cuando el terreno está constituido por roca dura que impida la penetración o en terrenos arenosos con bolos que impidan alcanzar los empotramientos necesarios.

1.5.1.4 Clasificación de acuerdo a su función

Las obras de atraque y amarre que permiten el embarque o desembarque de carga y/o pasajeros, se clasifican en función del tipo de carga o pasajero que en ellas se embarca, desembarca o manipula en: (Ver anexo 1.2)

- a) De uso comercial
- b) De uso pesquero
- c) De uso náutico-deportivo

- d) De uso industrial (en los que se incluyen la construcción y/o reparación de buques)
- e) De uso militar

Los atraques de uso comercial pueden subdividirse en función del tipo de mercancía y de la modalidad de presentación de la carga en:

- a) Graneles líquidos
- b) Graneles sólidos
- c) Carga general (carga convencional, contenedores, ferris y multipropósito)
- d) Pasajeros (cruceros y ferris)

1.5.2 Estructuras de contención del muelle

Las estructuras de contención son aquellos elementos artificiales para crear desniveles en el terreno que son estables.

Se clasifican en tres tipologías básicas, plasmadas en la fig. N°1.19, las cuales son:

- Muros de Gravedad
- Muros Pantalla
- Entibaciones

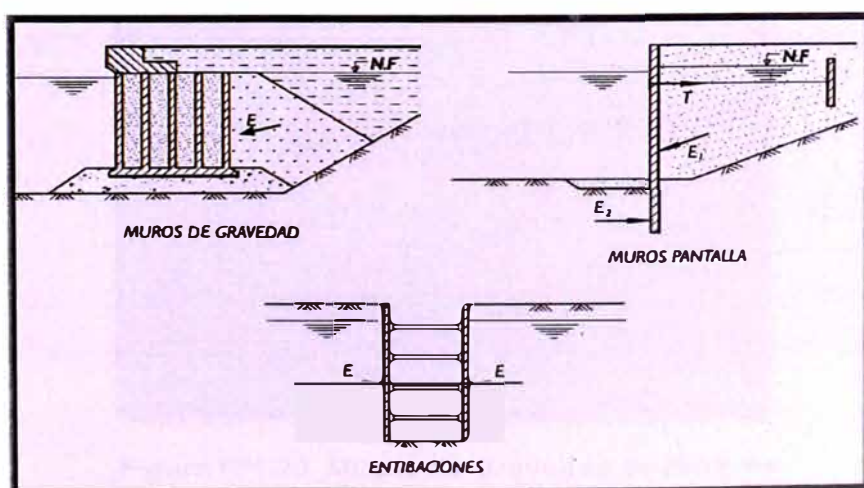


Figura N°1.19 Tipos de Estructuras de Contención

Fuente: ROM 2.0-11

1.5.2.1 Muros de Gravedad

Son estructuras de contención que soportan el empuje de tierras fundamentalmente mediante su propio peso. Los muros de gravedad pueden apoyarse en el terreno mediante cimentaciones superficiales en forma de zapata corrida o mediante cimentaciones profundas.

En función de las características de la estructura, las obras de gravedad se dividen en:

De bloques

La estructura resistente, detallada en la figura N°1.20, está formada por bloques de materiales pétreos o prefabricados de concreto, estos bloques pueden ser macizos o huecos, rellenándose posteriormente con un material granular o con concreto.

En general son paralelepípedicos, aunque a veces se construyen con planos inclinados con el objeto de reducir las presiones, o de centrar la resultante. La capacidad resistente radica en el rozamiento entre bloques, los cuales pueden o no estar solidarizados entre sí. Esta tipología se muestra en la imagen N°1.21.

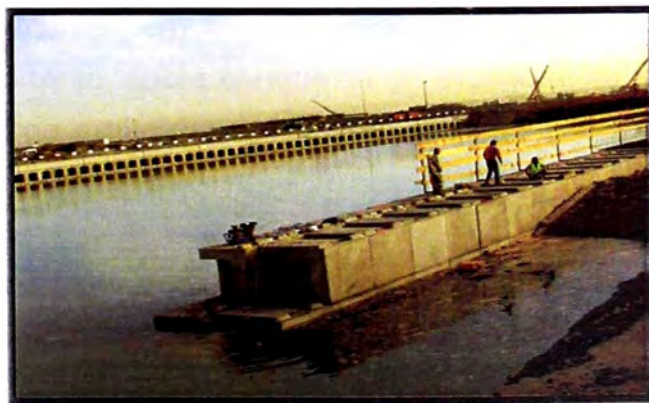


Figura N°1.20 Muelle de Gravedad de Bloques

Fuente: <http://www.trasubmed.es>

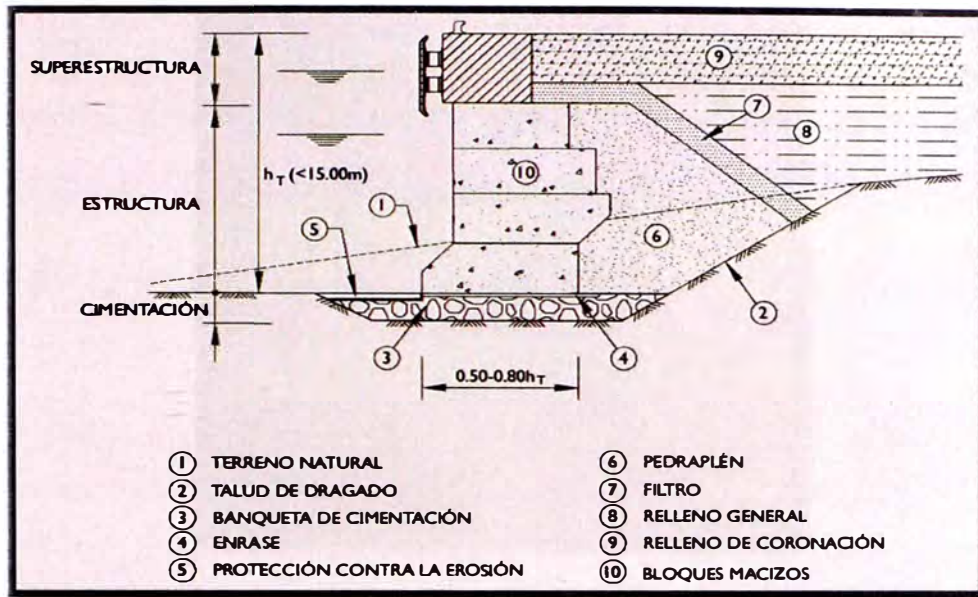


Figura N°1.21 Sección Tipo de Muro de Gravedad de Bloques

Fuente: ROM 2.0-11

🔨 Concreto Sumergido

La construcción de este tipo de estructura se lleva a cabo bajo el agua (fig. N°1.22), bombeando un concreto rico en cemento con el extremo del tubo embutido en la masa de la zona a rellenar para que, al expandirse, se evite al máximo el lavado del cemento y el árido fino.

Inicialmente, este sistema se aplicó a muelles de pequeña altura asentados sobre terreno resistente pero en hoy en día se utiliza también en terrenos de baja capacidad portante, sobre banquetas de escollera, este tipo de estructuras es ideal en donde no existe espacio para la prefabricación de bloques o medios para su colocación.

Estos bloques tienen entrantes para que penetren por ellos el concreto y lograr así una mejor unión con el macizo in situ. Además, disponen de juntas horizontales con llaves para evitar el deslizamiento. La sección tipo de dicha estructura está detallada en la fig. N°1.23.

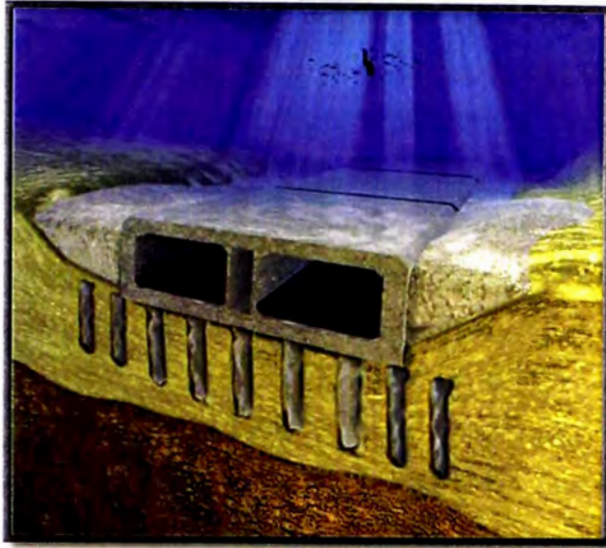


Figura N°1.22 Muro de Concreto Sumergido

Fuente: <http://tunnelbuilder.it>

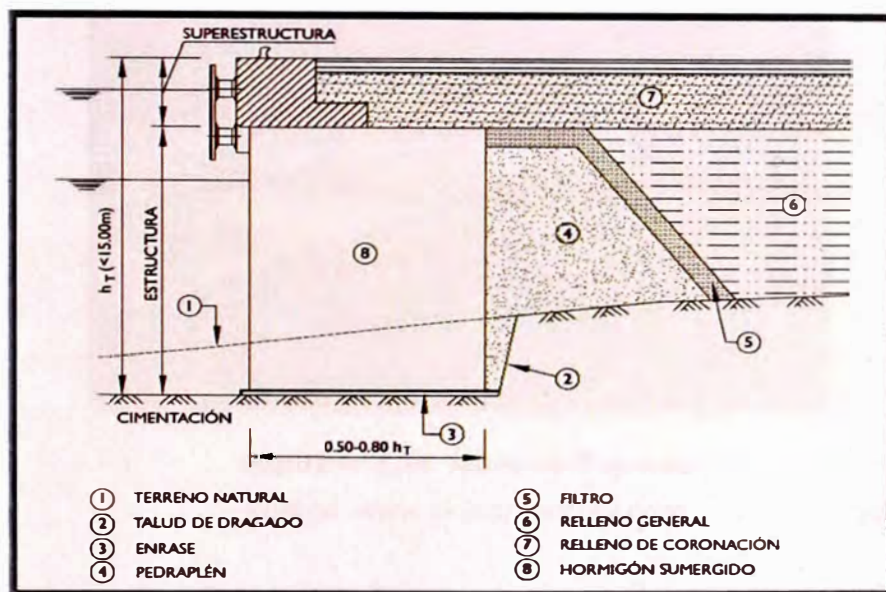


Figura N°1.23 Sección Tipo Muro de Concreto Sumergido

Fuente: ROM 2.0-11

De Cajones

La estructura resistente, presentadas en las figuras N°1.24 y N°1.25, está formada por cajones prefabricados que habitualmente son de concreto armado (pudiendo ser alternativamente de concreto pretensado, metálicos o mixtos),

construidos en seco o en diques flotantes y posteriormente remolcados, fondeados y rellenos con agua, material granular o con concreto pobre.

Los cajones flotantes pueden ser de diferentes formas y tamaños tanto en planta como en alzado, dependiendo de las condiciones y posibilidades constructivas locales. Las plantas y alzados rectangulares son los más usuales, están constituidos por la solera, el fuste, con celdas normalmente rectangulares, cuadradas o circulares en toda su altura, y las zapatas

La anchura del fuste del cajón es fundamentalmente determinada por la capacidad resistente y la estabilidad necesaria de la obra de atraque, y por la estabilidad naval del cajón o por condiciones operativas.



Figura N°1.24 Muro de Cajones

Fuente: www.skyscrapercity.com

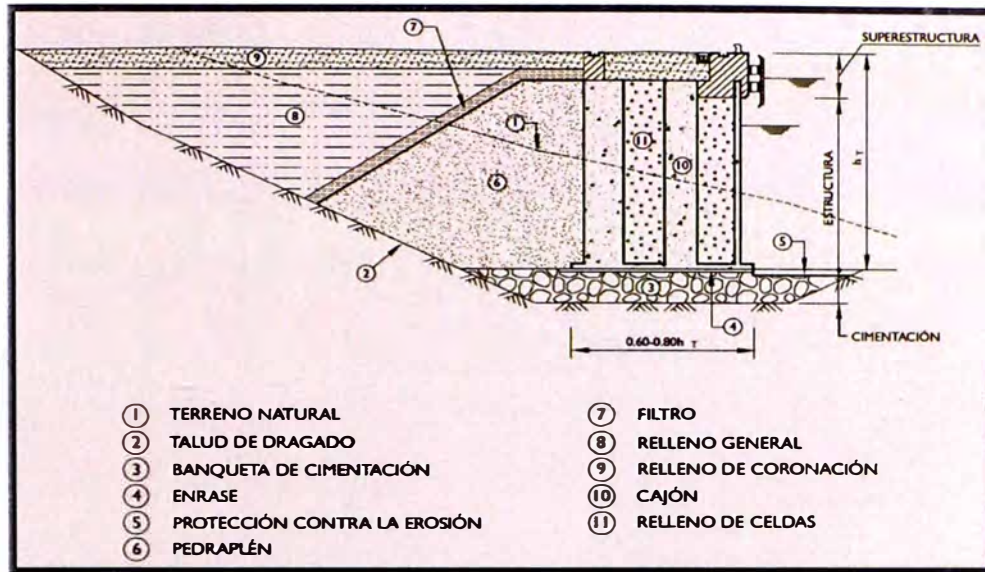


Figura N°1.25 Sección Tipo de Obra de Atraque de Cajones

Fuente: ROM 2.0-11

🚧 Otros tipos (En forma de "L")

Aunque no son muy utilizadas, existen otros tipos de obras de gravedad en las que la estructura resistente está formada por elementos en "L".

El funcionamiento resistente de las estructuras en "L" es similar a los muros de contención. Las características dimensionales generales son comparables con las de las obras de cajones, en las que se carece de pared de trasdós. En este caso el mantenimiento en el tiempo del relleno del trasdós sobre la solera es clave para la estabilidad de la obra.

Los elementos en "L", detallados en la fig. N°1.26, suelen construirse "in situ" en seco o más comúnmente son prefabricados, con alturas pequeñas de hasta 7 m. No obstante, con contrafuertes se han alcanzado alturas hasta 20 m. Su longitud varía entre 3 y 12 m, dependiendo de la disponibilidad local de los equipos de puesta en obra.

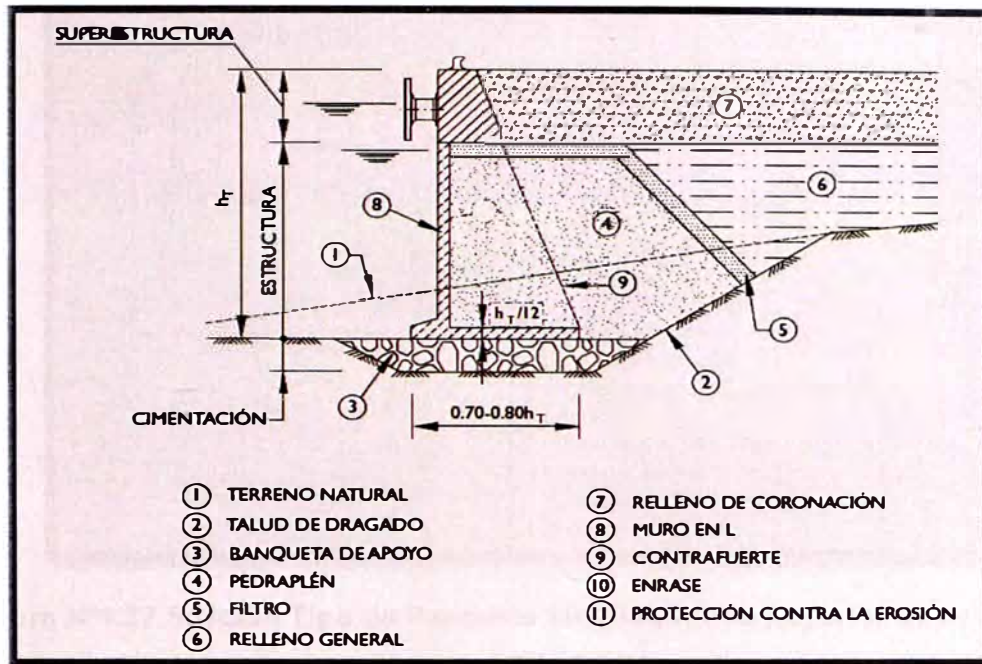


Figura N°1.26 Sección Tipo de Obra de Atraque de elementos en "L"

Fuente: ROM 2.0-11

1.5.2.2 Muros Pantalla

Son estructuras de contención que reciben directamente el empuje del terreno y lo soportan mediante el empotramiento de su pie y mediante eventuales anclajes próximos a su cabeza.

En función a los elementos estructurales adicionales a la propia pantalla que transmitan directamente al terreno de cimentación parte de las cargas de uso y explotación, las obras de pantallas se dividen en:

🔥 De pantallas sin plataforma superior de descarga

La estructura resistente, explicada en la fig. N°1.27, está constituida únicamente por una pantalla vertical o ligeramente inclinada, y por uno o varios anclajes que contribuyen a aumentar su rigidez y colaboran en su capacidad resistente.

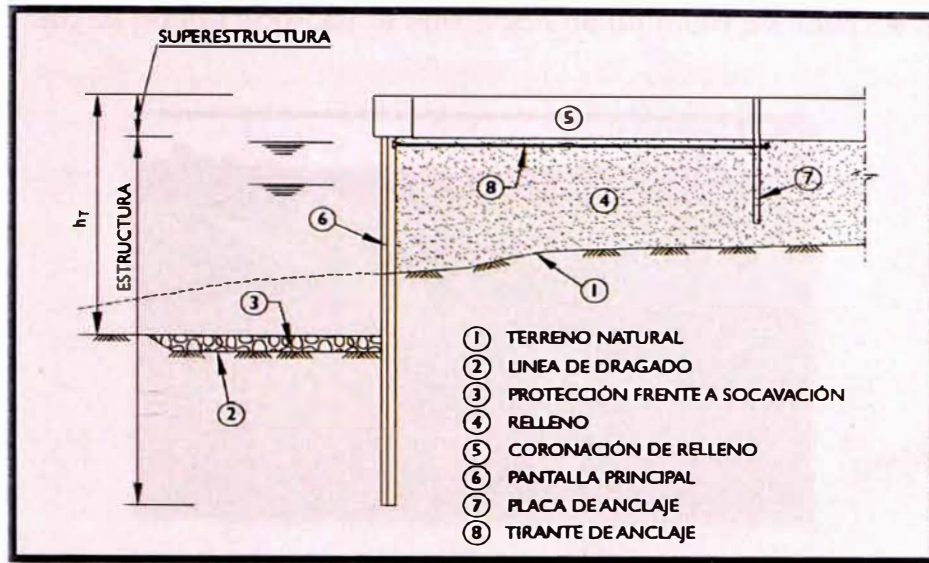


Figura N°1.27 Sección Tipo de Pantallas sin Plataforma superior de descarga

Fuente: ROM 2.0-11

A. *Las pantallas de tablestacas metálicas*

Estas estructuras suelen estar formadas por perfiles simples en “U”, en “Z” o compuestas por elementos de mayor inercia. La acción de los anclajes se transmite a una viga que en el caso de las pantallas de tablestacas es habitualmente metálica y cuya función principal es transmitir la fuerza de anclaje a las tablestacas individuales.

El sistema de anclaje suele ser pasivo, pudiendo consistir en barras o cables de acero unidos debidamente a la pantalla y a una estructura trasera de anclaje que puede consistir en otra pantalla más corta, un “muerto” de concreto. El muerto o la placa pueden estar simplemente apoyados en el terreno o cimentados sobre pilotes que proporcionan mayor capacidad de reacción.

El sistema de anclaje también puede ser activo. En este caso está formado por cables de pretensado, barras de acero o micropilotes y unidos en su parte final al terreno mediante bulbos inyectados de mortero o lechadas de cemento. En la

figura N° 1.28, se puede apreciar la aplicación de un muro pantalla de tablestaca metálica.



Figura N°1.28 Pantalla de Tablestaca Metálica

Fuente: <http://www.archiexpo.es>

B. Las pantallas de concreto armado

Generalmente son de sección rectangular, o en "T", también pueden construirse pantallas con pilotes tangentes, como se aprecia en la fig. N°1.29. Su sistema de anclaje casi siempre es activo, debido a su menor deformabilidad, aunque también pueden ser pasivos. Los sistemas de anclaje son similares a los de pantallas de tablestacas.



Figura N°1.29 Pantalla de Concreto Armado

Fuente: <http://buenos-aires.all.biz>

De pantallas con plataforma superior de descarga

La estructura es idéntica a las pantallas sin plataforma superior, apreciada en la fig. N°1.30 pero con la incorporación por encima del nivel de las aguas exteriores, de una plataforma de concreto armado en el trasdós, sostenida en la propia pantalla y en varios pilotes verticales y/o inclinados.

La función principal de esta plataforma es disminuir los empujes del terreno de trasdós y transmitir directamente las cargas de uso y explotación a la cimentación sin incrementar los esfuerzos horizontales sobre la pantalla. Por esa razón puede ser conveniente utilizar esta tipología para pantallas con alturas libres altas y/o cuando las cargas verticales de uso y explotación son muy importantes.

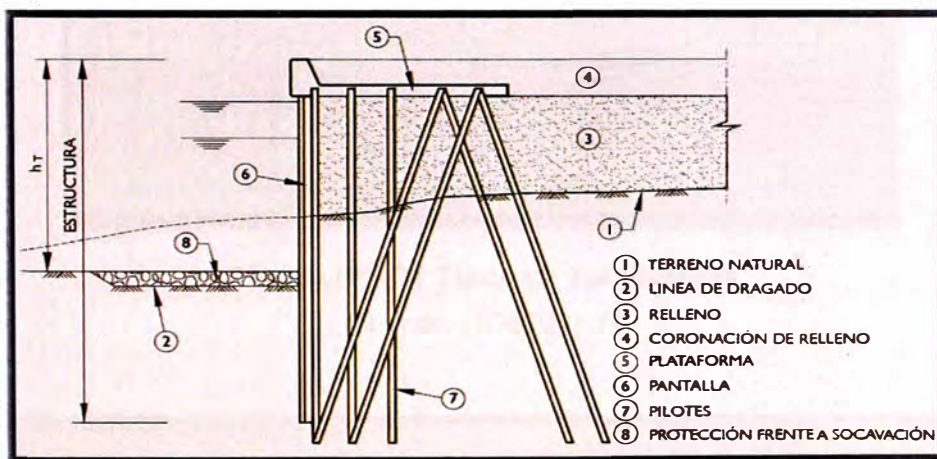


Figura N°1.30 Sección Tipo Pantalla con Plataforma superior de descarga

Fuente: ROM 2.0-11

1.5.2.3 Entibados – Tablestacas

La estructura está formada por una fila de recintos o celdas formados por tablestacas metálicas, conectados entre sí, los cuales se pueden construir con varias configuraciones geométricas, presentados en la fig. N°1.31, y rellenos posteriormente de material granular.

Los recintos con formas circulares son los más utilizados. La ventaja de esta tipología estructural respecto a las otras con tablestacas radica en que las celdas son auto estables individualmente y se pueden hacer los rellenos de las celdas de manera independiente

La configuración de esta estructura se aprecia en la fig. N°1.32 y la capacidad resistente de la estructura es aportada fundamentalmente por el relleno interno y por la propia interacción de los recintos de tablestacas con el relleno y con el terreno natural.

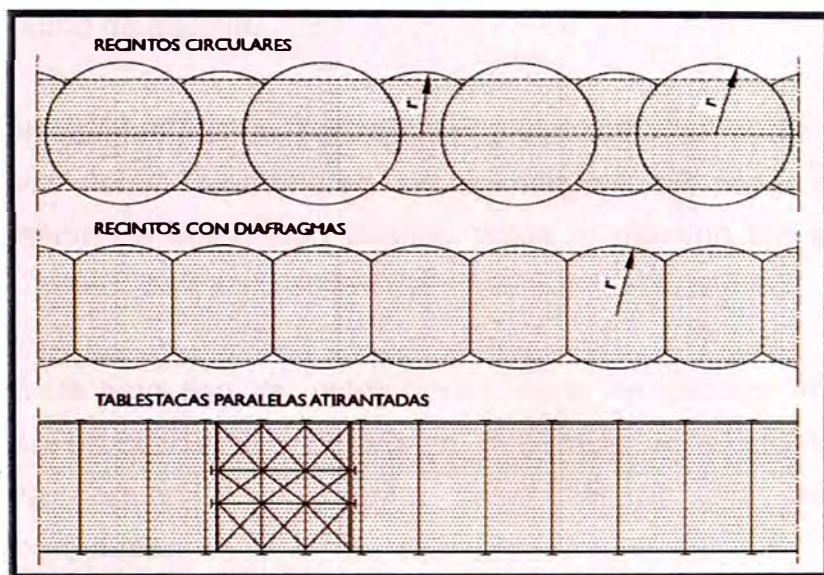


Figura N°1.31 Tipos de Tablestacas

Fuente: ROM 2.0-11

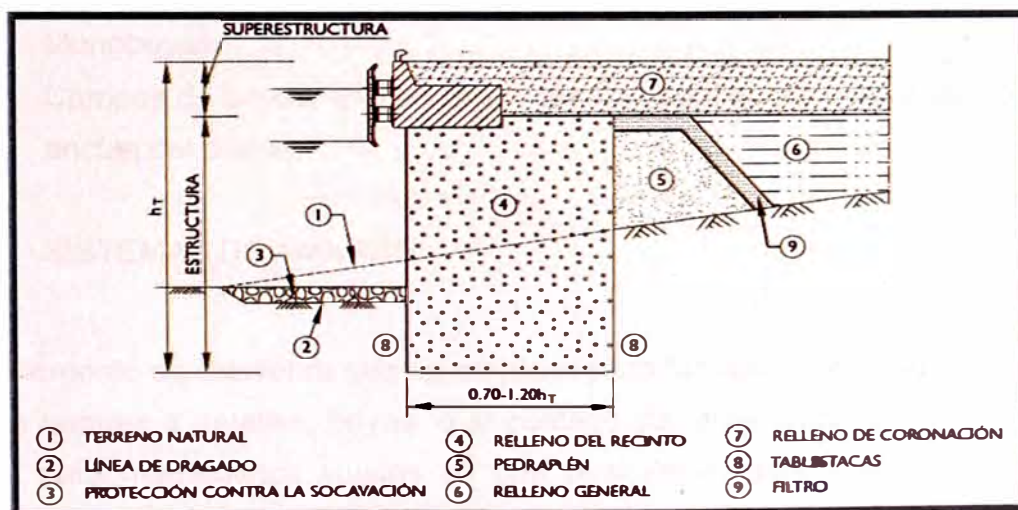


Figura N°1.32 Sección Tipo de Tablestacas

Fuente: ROM 2.0-11

1.5.3 Terminal de Boyas

Son obras de amarre, normalmente están formadas por una estructura cilíndrica de acero, fibra de vidrio o material plástico, las cuales se fijan al terreno a través de un ancla, muerto o pilote que depende de la magnitud de las tracciones que alcancen al punto de anclaje.

Las boyas resisten las fuerzas horizontales y verticales del sistema de amarre y anclaje. Estas deben mantenerse sin sumergirse en todo momento, con suficiente reserva de flotabilidad cuando actúa el máximo tiro en la línea de amarre.

La utilización de este tipo de instalaciones viene en general impuesto por la ausencia de estructuras fijas de abrigo o porque no exista un mínimo de infraestructura portuaria que permita desarrollar en ella las operaciones típicamente portuarias.

Las instalaciones de este tipo responden fundamentalmente a dos tipologías principales:

- Monoboyas
- Campos de boyas, que en algún caso se configuran con utilización de las anclas del buque.

1.6 SISTEMAS DE AMARRE

Son elemento de maniobra que se emplean para facilitar el atraque o desatraque de los buques a muelles, boyas, o al costado de otros buques. También se les utiliza para mantenerlos sujetos en una posición estable y segura durante la permanencia en puerto.

Reciben diversos nombres según la dirección en que trabajan al salir del buque:

- Largos: Salen de proa y trabajan hacia adelante.

- Esprines: Salen de un extremo del buque y trabajan oblicuamente en dirección al otro extremo.
- Traveses: Trabajan en dirección perpendicular al plano de crujía.

Por lo general, las embarcaciones van controladas por aparejos de conexión y amarradas a las bitas y cornamusas. A continuación se presentan algunas reglas generales para el diseño:

- a) Es recomendable considerar el uso de un sólo tipo de elemento de amarre de alta capacidad en toda la instalación.
- b) El sistema de amarre será simétrico.
- c) Normalmente se disponen 6 puntos de amarre, 3 en la zona de proa y otros 3 en la zona de popa.

1.6.1 Las Bitas

Se utilizan para sujetar y asegurar un buque y es una pieza metálica, hechas de acero inoxidable o en hierro fundido galvanizado, de uno o más brazos que sirve para amarrar un cabo, una espía o un cable. Entre sus tipos, se pueden apreciar en la fig. N°1.33.

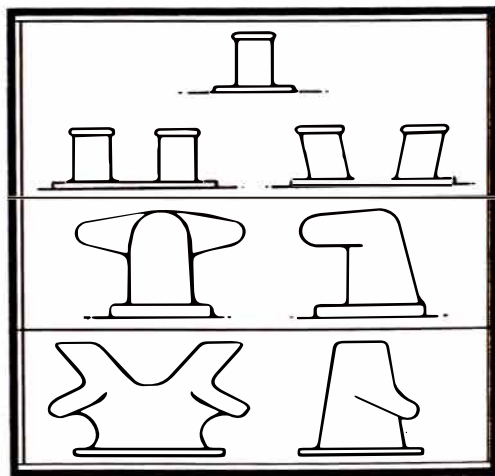


Figura N°1.33 Tipos de Bitas

Fuente: British standar

1.6.2 Cornamusas

Son accesorios de baja capacidad, fabricadas en acero de fundición con dos brazos que se proyectan, destinados a ser utilizados para asegurar las amarras de embarcaciones pequeñas. En la fig. N°1.34 se aprecian el proceso de amarre a una cornamusa.

Usados en la mayoría de las instalaciones navales, pero son accesorios de menor capacidad en comparación a las bitas. Por ello, debido a su baja capacidad de retención, no deben ser utilizados en combinación con accesorios mayores de amarre, como las bitas.

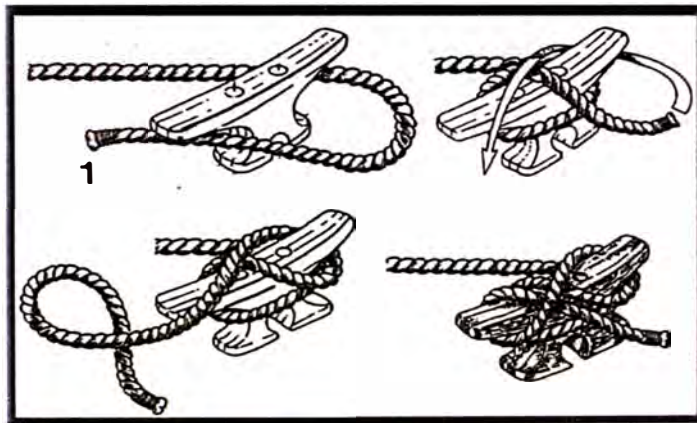


Figura N°1.34 Tipos de Cornamusas

Fuente: British estándar

1.6.3 Disposición para puntos de amarre

La mayoría de las instalaciones de atraque requieren un alto grado de flexibilidad; para así, poder recibir varios tipos y tamaños de buques. El caso ideal sería cuando se presenta una distribución idéntica para lanzar las amarras, pero en realidad, no existe un patrón universal para el espaciamiento.

1.7 OBJETIVOS Y FUNCIÓN SEGÚN TIPOLOGÍA

En el presente acápite se presenta la tabla de resumen (tabla N°1.1), donde se incluyen las funciones y objetivos de las tipologías de obra definidas previamente.

Tabla N°1.1 Objetivos y Funciones según el tipo de estructura

Tipo de Estructura	Objetivo	Función Principal
Obras de Atraque y Amarre	Ayuda en las maniobras de atraque en las embarcaciones. Además proveen facilidades para el tráfico de carga	Transferir las cargas aplicadas desde la estructura principal al lecho marino
Obras de Abrigo (Rompeolas y Diques)	Proteger y abrigar áreas de interés	Disipar la energía del oleaje y/o reflejar dentro del mar
Muros Costeros	Retener el suelo, evitar el deslizamiento de tierra hacia el mar y proteger las áreas terrestres superiores de la erosión por las olas y corrientes	Reforzar sectores del borde cortero. Contener terrenos ganados al mar

Elaboración propia

1.8 CONCEPTOS BÁSICOS

1.8.1 Consideraciones naturales

La costa peruana ha sido formada por la acción del oleaje y otros agentes marítimos. De tal modo, los efectos de erosión del macizo terrestre han generado por el norte, costas con playas tendidas y por el sur, costas con grandes profundidades a muy poca distancia de la línea costera. Por ello, en los siguientes párrafos, se presentan los principales fenómenos que han estado y están permanentemente en la costa:

1.8.1.1 Oleaje

Al plantear el diseño y operatividad de una estructura portuaria; como exigencia mínima, se debe de realizar el estudio de las olas cortas, asociado a un registro no menor a 20 años.

El estudio del clima del oleaje, permite determinar las características del oleaje en aguas profundas, trasladándolo hasta la zona del proyecto y conociendo los valores extremos y operativos del oleaje, necesarios para el diseño de las obras que demanda un proyecto portuario.

Los parámetros del oleaje que se necesitan establecer para el diseño de obras portuarias son:

- Altura, periodo, dirección, ocurrencia.

En el caso peruano, el oleaje que llega a la costa, es generado fundamentalmente en los centros de alta presión del Pacífico Sur, que está localizado frente a la costa de Chile y que se desplaza desde esta localización hacia el Norte (eventualmente algunas olas que llegan a la costa del Perú, son del centro de alta presión del Norte).

Desde el punto de generación del oleaje hasta que el oleaje llega al Zócalo Continental, se desplaza sin perder energía. Por el contrario, cuando llega al Zócalo Continental, pierde energía por la fricción que se da, entre éste y el fondo. Este cambio hace que el oleaje se acerque a la costa y rompa en forma casi paralela a la línea costera.

Cuando el oleaje entra al Zócalo Continental, se generan distintos fenómenos, detallados de la siguiente manera:

- Refracción: El oleaje pierde energía y cambia de dirección.
- Difracción: El oleaje choca con obstáculos repentinamente y gira alrededor del obstáculo.
- Reflexión: El oleaje choca con obstáculos naturales y rebota hacia aguas profundas.

Para la obtención del clima del oleaje, se registran las olas en la zona de generación (aguas profundas) cada 4 a 6 horas por día y por no menos de 20 años, midiendo altura, dirección, periodo, ocurrencia y otros parámetros tales como, altura significativa, periodo promedio, etc. La clasificación y el ordenamiento de esta información permiten conocer la frecuencia de ocurrencia de las alturas de ola, los periodos y direcciones.

El clima de oleaje se traslada hacia la zona del proyecto mediante los planos de refracción o con el uso de software, tales como: STWAVE, MIKE (de garantía internacional) y muchos otros que se ofrecen en el mercado.

Conocido el oleaje en la zona del proyecto, se puede encontrar el oleaje extremo y el operativo. El primero sirve para diseñar las obras de abrigo y el segundo, para conocer la posibilidad de operación de una nave en la costa, ya sea bajo la protección de una obra de abrigo o sin ella.

1.8.1.2 Agitación del oleaje

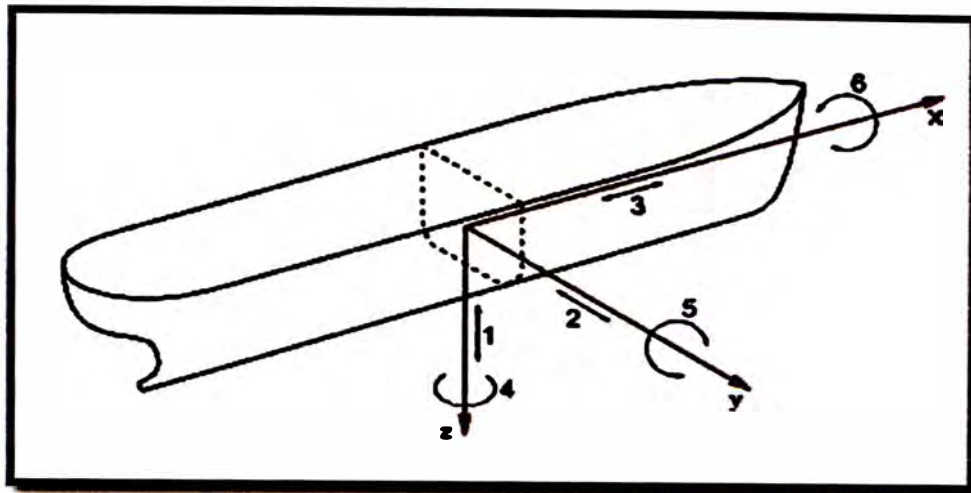
Previo al diseño de la estructura portuaria, se debe de estudiar las condiciones de agitación en la zona del proyecto, teniendo en cuenta el efecto combinado de difracción, refracción y reflexión de las olas.

La agitación se calcula, para conocer si la embarcación puede atracar y ser amarrada, y establecer el tiempo de operación del barco en el muelle, y por ende el tiempo de operación del amarradero.

Si el tiempo de operación no satisface el proyecto, es recomendable evaluar la posibilidad de colocar o diseñar una obra de abrigo.

En general, se debe considerar que cualquier modificación a la geometría del interior del puerto, ya sea para proteger algunas áreas o para construir estructuras marinas, tendrá consecuencias en el patrón de agitación por oleaje.

Los 6 grados de libertad que define el análisis de la agitación de la nave en el puerto por efecto del oleaje, se presentan en el siguiente gráfico:



- Traslaciones:**
- 1 Movimiento vertical de ascenso y descenso. Arfada
 - 2 Movimiento lateral a ambas bandas. Deriva
 - 3 Movimiento longitudinal de avance ó retroceso.
- Rotaciones:**
- 4 Según el eje vertical. Guiñada de rumbo
 - 5 Según el eje trasversal. Cabeceo
 - 6 Según el eje longitudinal. Balance ó rolido

Figura N°1.35 Movimiento del buque en las olas

Fuente: Technical Standard and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan

Con la evolución de los modelos numéricos, se puede llevar a cabo, complejos estudios del problema de la agitación portuaria; y así, observar cómo las obras interactúan con el oleaje. Además de proponer medidas de atenuación, siendo los siguientes modelos, los más resaltantes:

- 📌 **OLUCA:** Es un modelo no lineal, dispersivo y no transitorio, con aproximación parabólica de las ecuaciones de la pendiente suave.

Este método numérico consiste en definir una malla de estudio en direcciones infinitas, que requiere de la batimetría de la zona de estudio o área en la que se desea analizar la propagación desde aguas profundas.

Existen otros modelos numéricos, tales como: COPLA y MOPLA.

1.8.1.3 Propagación del oleaje

Se presentan en dos partes diferenciadas, siendo:

Estudio del régimen medio del oleaje

El régimen medio del oleaje es la distribución estadística que define el porcentaje de tiempo en que, durante el año medio, la altura de ola (o el período) no excede de cada valor.

El régimen medio viene a ser el oleaje operativo definido por las olas cortas (SEA), usado diariamente y que por ejemplo, permite medir el tránsito de sedimentos.

Estudio del régimen extremal del oleaje

En el diseño de estructuras marítimas se utilizan estados del mar extremos, definidos por la ocurrencia de olas extremas (SWELL), con una intensidad tal, que sólo exista una pequeña probabilidad de ser superada en la vida prevista de la estructura.

Para el litoral peruano, es trascendental el estudio del régimen extremal, ya que su conocimiento permite conocer los valores picos del oleaje para ejecutar el predimensionamiento de una obra de abrigo (rompeolas) o para hacer cualquier estudio de predicción o proyección a futuro.

1.8.1.3 Transporte de sedimentos

Un factor que afecta el medio ambiente costero y marino, es la acción propia de las obras de abrigo y otras obras en la costa (espigones, rellenos), que producen la alteración del campo de acción de las olas, corrientes y/o la naturaleza del material, en forma directa o indirecta, al obstruir el libre tránsito de sedimentos a lo largo de la costa.

El estudio de transporte de sedimentos, es de vital importancia, porque permite conocer la modificación que puede sufrir el perfil costero, y plantear alternativas para poder mitigar el daño a terceros o minimizar el impacto.

Para conocer si hay transporte de sedimentos, es necesario evaluar la costa donde se va a intervenir con una obra portuaria y determinar si se encuentra en equilibrio o no. El análisis se efectúa evaluando la cantidad de arena que ingresa a la costa a intervenir y la cantidad que sale. Si las cantidades son iguales, se dice que la costa está en equilibrio. Si por efecto de la obra portuaria, se cambia este equilibrio, se producirá erosión y sedimentación, que deberá ser evaluada a fin de no disturbar la línea de costa.

El arrastre de sólidos se produce principalmente en la rompiente de las olas y por las corrientes que genera la ruptura de las olas, tanto a lo largo de la costa como en forma perpendicular a la misma. Estas corrientes, dentro de la zona de rompientes, son usualmente más importantes que las corrientes marinas y, consecuentemente, tienen una mayor capacidad para transportar sedimentos.

El transporte de sedimentos en el mar peruano es usualmente de Sur a Norte, transportando un volumen importante de m^3 / año. Por ejemplo en la costa de Salaverry- La Libertad, es del orden de $1'000,000 m^3/año$ y es el fenómeno que existe a lo largo del litoral por medio del cual las partículas sólidas se transportan.

Es posible identificar dos formas de transporte de sedimentos en la zona costera debido al oleaje incidente, que han sido mostradas en la Figura N°1.36. y que se definen a continuación:

↳ Transporte de sedimentos normal a la costa debido a olas

Denominado también "On-Offshore Sediment Transport" y se da cuando las olas generan corrientes en dirección hacia la costa y hacia el mar, transportando sedimentos.

El perfil costero en equilibrio es producto de fuerzas "constructivas" y "destructivas" que actúan sobre los granos de arena ubicado en la zona de acción de la rompiente de olas.

Durante estas condiciones el sedimento es sacado de la playa, transportado hacia el mar y depositado en forma de una barra característica (perfil de playa de "invierno"). En ausencia de tormentas, las olas restituyen el material erosionado haciendo desaparecer la barra y definiendo un perfil más suave o de "verano".

↓ Transporte de sedimentos a lo largo de la costa debido a olas

Denominado también "Longshore Sediment Transport" o transporte litoral de sedimentos. Las corrientes asociadas a las olas, paralelas a la costa, transportan, por arrastre principalmente, los sedimentos.

Las olas se acercan a la costa luego de transformarse (altura y longitud de onda) en la plataforma interior y rompen transfiriendo cantidad de movimiento a la columna de agua y disipando energía.

La transferencia de cantidad de movimiento produce un cambio en el nivel medio del mar dentro de la zona de rompientes. Esta sobreelevación es proporcional a la altura de la ola por lo que es más intenso durante tormentas.

La disipación de energía genera corrientes paralelas a la costa en la medida que las olas rompan formando un ángulo con la línea de costa. Estas corrientes arrastran sedimentos en gran cantidad y son responsables de cambios importantes de las costas en la medida que su ciclo natural sea alterado de alguna manera.

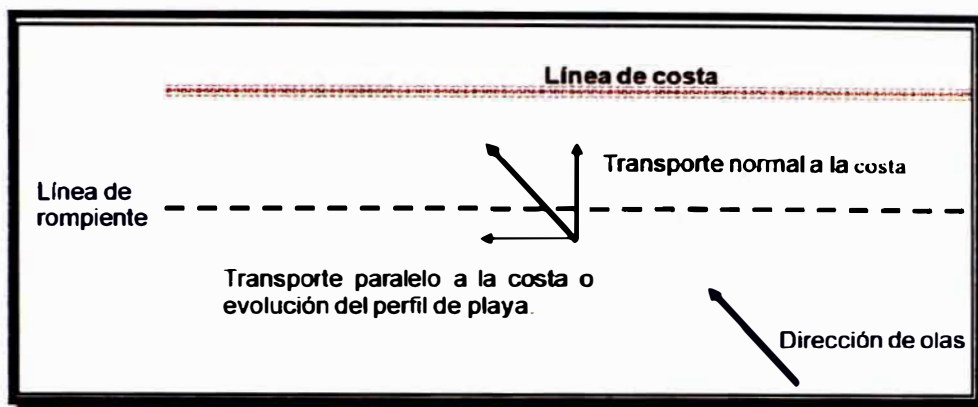


Figura N° 1.36 Esquema del transporte de sedimentos

Elaboración Propia

1.8.1.4 Mareas

La marea es una ola larga cuyo periodo es del orden de 6 a 12 horas. En la costa peruana la marea es de aproximadamente 6 horas y se le denomina, marea semidiurna. Las características de los cambios del nivel del mar están determinadas por la marea y definidas por los registros efectuados y publicados por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, en las tablas de mareas.

Conceptualmente, las mareas son los movimientos periódicos de ascenso y descenso de las aguas del mar (variación del nivel del espejo de agua), a causa de la atracción gravitatoria ejercida por la Luna, el Sol y otros astros y estrellas de la esfera celeste.



Figura N° 1.37 Tabla de mareas del litoral peruano

Fuente: Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú

Existen tres tipos distintos de mareas y son los siguientes:

Mareas muertas o de cuadratura

Son las mareas menos intensas y se dan cuando la Luna está en cuarto menguante o en cuarto creciente, puesto que entonces las atracciones gravitatorias de la Luna y el Sol se compensan parcialmente.

Mareas semidiurnas

Se da cuando hay dos pleamares y dos bajamares en cada día lunar, con las dos pleamares alcanzando niveles de agua muy parecidos, tal y como se aprecia en la fig. N°4.4.

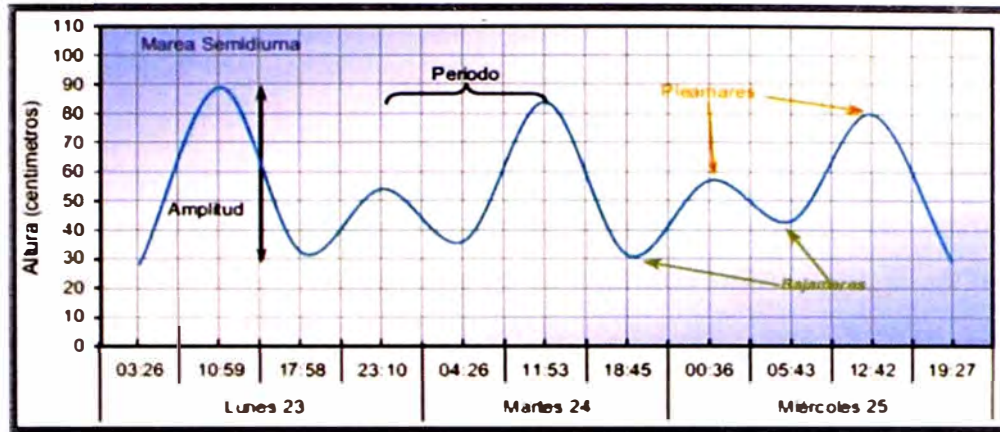


Figura Nº 1.38 Registro de marea semidiurna en el Callao

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

🌊 Mareas diurnas

Se da cuando hay solo una pleamar y una bajamar. Este tipo de mareas, poco usuales en comparación a las semidiurnas, no se presentan en el litoral peruano.

1.8.1.5 Tasa de renovación de aguas dentro de un puerto

Los puertos son dominios de agua con una limitada capacidad de renovación pero donde existen fuentes de contaminación "permanentes" u ocasionales. Por ello, se exige realizar en las inmediaciones:

- Control de la calidad del agua en los puertos
- Predecir su dinámica en función de la climatología y geometría del puerto
- Realizar una delimitación de usos, que consiste en la localización de la zona portuaria.

De esta manera, se asegura la calidad de aguas litorales en áreas portuarias y se evita un riesgo ambiental.

En la actualidad, se han implementado estudios que permiten compatibilizar el mantenimiento de la calidad de los sistemas acuáticos con su actividad. Uno de ellos, es el tiempo de renovación que puede definirse como el tiempo medio

necesario para que un dominio renueve su volumen de agua. Así, en tanto que dicho intercambio regula la capacidad de acumulación de sustancias en un medio dado.

El tiempo de renovación se puede calcular a partir del estudio del transporte de un trazador conservativo, haciendo uso de modelos numéricos. El estudio de la evolución del trazador conservativo en la masa de agua permite conocer el tiempo de renovación de la propia masa de agua.

Si el agua que se encuentra en el puerto no se renueva, se produce el estancamiento de las aguas y por ende, la contaminación del mismo por la pérdida de oxígeno. En el caso peruano, para el cálculo del tiempo de renovación, se recomienda el uso de un trazador conservativo hasta un máximo de 15 días.

En conclusión, es importante resaltar que las diferencias en las dimensiones, geometría, volumen y el efecto de las corrientes marítimas sobre el trazador conservativo, determinaran que una masa de agua tenga una tasa de renovación distinta. Este es el caso del puerto del Callao, apreciado en la fig. N° 4.5, en donde se usó un tiempo de renovación de 15 días, pero en otro puerto con distinta configuración puede variar ese tiempo.



Figura N° 1.39 Puerto del Callao

Fuente: Autoridad Portuaria Nacional

1.8.1.6 Agua lastrada

Con el objeto de evitar la transmisión de especies perjudiciales y epidemias, se debe exigir que toda nave procedente del extranjero lastrada con agua de mar, renueve su lastre al menos una vez antes de arribar a puertos peruanos y a una distancia no inferior a las 12 millas náuticas de la costa.

Con la finalidad de reducir el riesgo epidemiológico y ambiental en las vías de navegación, se presentan las siguientes dos premisas:

- La concentración de organismos, es más baja en alta mar que en zonas costeras.
- La probabilidad de sobrevivencia de especies oceánicas en el ambiente de entorno de los puertos, tanto en la costa como en aguas interiores, es muy pequeña o prácticamente nula.



Figura N° 1.40 Gestión del agua de lastre

Fuente: Organismo Marítimo Internacional

1.8.1.7 Operatividad portuaria

Se debe exigir y garantizar las condiciones mínimas de operatividad, es decir la cantidad de horas que el barco podrá ser atendido luego de que es amarrado en

la estructura de atraque. Para tal efecto, deberá contarse con los canales de navegación, operaciones y otros que permitan atender a la nave, luego de la autorización de ingreso.

Los estudios de operatividad portuaria son trascendentales para la evaluación integral y detallada de las distintas alternativas para la construcción o ampliación de obras marítimas y portuarias (posibilidad de acceso de determinado tipo y tamaño de buques, grado de seguridad resultante, trazado económico y seguro de canales de entrada, etc.).

Para el dimensionamiento de un proyecto portuario, se supondrá que las diferentes variables actúan simultáneamente y con sus valores más desfavorables. Esta condición puede obligar a considerar diferentes hipótesis de cálculo considerando cada una de las variables climáticas como predominante y el resto con los valores máximos compatibles con ella.

Los modelos de propagación y agitación, permiten obtener información muy precisa sobre el grado de operatividad de una estructura portuaria. Y en la actualidad, con el uso de la tecnología en el campo marítimo-portuario, es posible plantear modelos matemáticos de simulación y una metodología de diseño de los accesos y áreas de flotación, que permita lograr un alto nivel de seguridad y operatividad en aguas portuarias.

↳ Etapa de inoperatividad

Se suspenderán las maniobras portuarias, en el momento en que exista limitaciones de cualquier tipo (vientos, oleajes, corrientes, mareas meteorológicas, falta de visibilidad, planta, alzado, ayudas a la navegación, etc.), debido a la presencia de condiciones climáticas superiores a las establecidas como Condiciones Límites de Operación.

Como elemento de medida de que las Condiciones Límites de Operación adoptadas son adecuadas para el nivel de servicio requerido, se recomienda verificar cual es el "Tiempo de Cierre del Área" que se considera en relación con

el tiempo total disponible, es decir el tiempo en el que el área permanecerá inoperativa para determinadas operaciones.

Para llevar a cabo el análisis del tiempo de cierre del área, se puede hacer uso de lo establecido por la ROM o por alguna otra recomendación que se adapte a las características del mar peruano.

1.8.1.8 Balizamiento

El sistema de balizamiento marítimo establece las reglas aplicables a todas las marcas fijas, flotantes y electrónicas destinadas a indicar los límites laterales de los canales navegables, ubicar la trayectoria a seguir por los buques, delimitar la zona de atraque, los peligros naturales y otros obstáculos como los naufragios.

Se debe plantear la delimitación de los sectores navegables mediante un sistema de balizamiento y al momento del arribo de los barcos al muelle, se debe de usar boyas de enfilamiento.

En la fig. N°1.41 se aprecia un sistema de balizamiento usual que comprende:

- Señales laterales
- Señales de peligro aislado
- Señales de nuevos peligros
- Señales de aguas seguras
- Señales especiales
- Señales cardinales

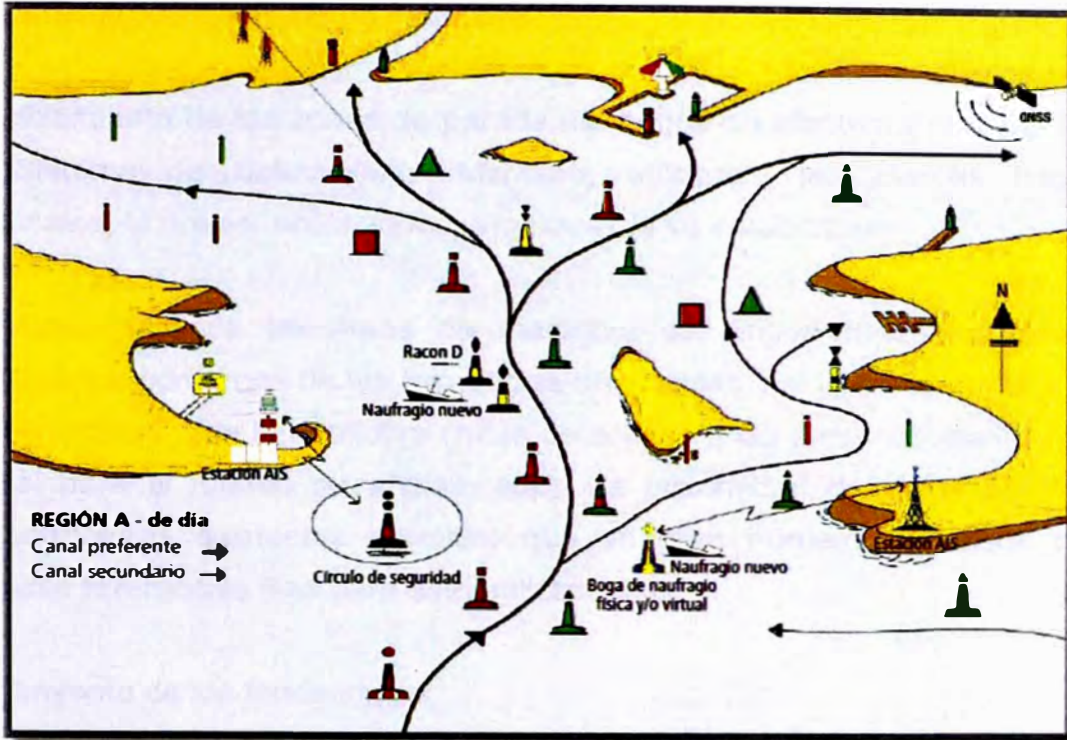


Figura N° 1.41 Esquema de un sistema de balizamiento
Elaboración Propia

Balizamiento de las vías de navegación

Para definir correctamente el balizamiento de una vía de navegación deben definirse previamente una serie de tramos en ella en función de la maniobra que se realice: cambio de rumbo, transición y navegación en tramo recto.

Dependiendo de los requerimientos y la situación de la vía de navegación, pueden utilizarse los tipos siguientes de ayudas a la navegación:

- Visuales (transmiten la información por vía visual, ya sean luminosas o ciegas).
- Radioeléctricas (transmiten la información mediante ondas radioeléctricas).
- Una mezcla de ambos.

Las boyas, balizas, enfilaciones, luces direccionales, luces de sectores, etc., que se utilicen deberán estar de acuerdo con el Sistema de Balizamiento Marítimo.

Balizamiento de las áreas de maniobra

El balizamiento de las zonas de parada del buque se efectuará con los criterios del Sistema de Balizamiento Marítimo, utilizando las marcas habituales (cardinales, laterales, enfilaciones, etc.) que allí se establezcan.

El balizamiento de las áreas de maniobra se dirigirá fundamentalmente a señalar los contornos de las superficies disponibles, así como los ejes y puntos fundamentales para la maniobra (rutas de acceso a las áreas de maniobra, área central para el fondeo de anclas, etc.). La proximidad de estas áreas a las infraestructuras existentes permitirá que en gran número de casos puedan utilizarse referencias fijas para este balizamiento.

Balizamiento de los fondeaderos

Se denomina fondeadero a la zona en la que los buques arrojan el ancla, o fondean, en espera de poder entrar en la parte del puerto destinada a realizar las operaciones típicamente portuarias (carga, descarga, reparaciones, etc.)

El balizamiento de los fondeaderos estará limitado a la definición del perímetro de las áreas de fondeo mediante boyas o balizas, sin que se prevea ningún tipo de balizamiento de los puntos de fondeo, que, en caso de uso, ya quedarán balizados por los propios sistemas del barco que los ocupe.

Balizamiento de los amarraderos y campo de boyas

Debe ir dirigido fundamentalmente a marcar los aspectos siguientes:

- Los elementos flotantes y fijos que constituyan el fondeadero (boyas, torres, plataformas, mangueras, etc.).
- Los elementos sumergidos que se utilicen en la operación de las instalaciones.
- Las enfilaciones y marcas necesarias para la navegación y fondeo de las anclas en los puntos requeridos.

1.8.1.9 Cambios climáticos

En la actualidad, dada la coyuntura, es apremiante tomar en cuenta los cambios climáticos que se vienen dando en el mundo, para el diseño de una estructura portuaria. Tales son los casos del calentamiento global y los deshielos, que producen un aumento del nivel medio del mar.

Asimismo, se debe tomar en cuenta las fluctuaciones o alteraciones que puede sufrir el ambiente por efecto de fenómenos de macro escala como es el Fenómeno del Niño y la Niña.

1.8.2 Conceptos Hidráulicos y Marítimos

1.8.2.1 Mecánica de olas

Las olas oceánicas son una característica fundamental de las regiones costeras del mundo, son principalmente generadas por los vientos. Además del oleaje, existen otros movimientos de onda característicos del océano como lo son: ondas internas, mareas, tsunamis y ondas de borde.

✚ Clasificación de acuerdo a la profundidad relativa

La profundidad relativa se define como el cociente entre la profundidad y la longitud de onda h/L . De acuerdo a este parámetro las olas se pueden clasificar, como se indica en la fig. N°1.42.

- a) Oleaje en Aguas Profundas
- b) Oleaje en Aguas Intermedias
- c) Oleaje en Aguas Someras

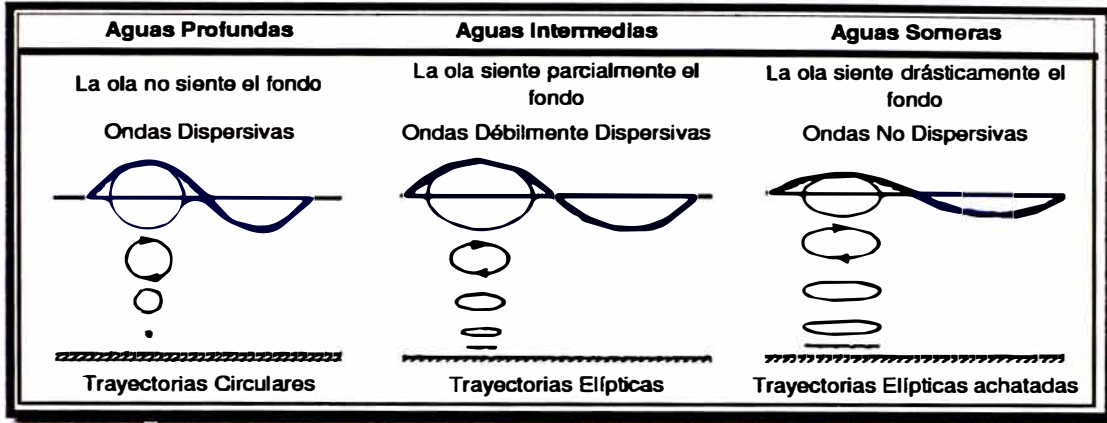


Figura N°1.42 Clasificación de acuerdo a la Profundidad Relativa
 Fuente: Análisis y Descripción Estadística del Oleaje (Silva, 2005)

📌 **Clasificación del oleaje oceánico**

Las olas poseen una extensa variedad de periodos, alturas y longitudes. Estas se pueden clasificar de acuerdo a su periodo, longitud, fuerza generadora y cantidad de energía, como se especifica en la tabla N°1.2 y figura N°1.43.

Nombre	Periodo (T)	Longitud (L)	Altura (H)	Fuerza generadora	Fuerza restauradora
Capilares	0 a 0.1 (s)	2 a 7 (cm)	1 a 2 (mm)	Viento	Tensión superficial
Ultragravedad	0.1 a 1 (s)	Centímetros	Centímetros	Viento	Tensión superficial y gravedad
Gravedad	1 a 30 (s)	Metros a cientos de metros	Centímetros a 15 (m)	Viento	Gravedad
Infragravedad	30 (s) a 30 (min)	100 a 200 (m)	Pequeña	Viento	Gravedad, fuerza de Coriolis
Periodo largo	5 (min) a 24 (h)	Pueden llegar a ser de escala planetaria	1 a 5 (m)	Sismo, derrumbes, atracción de cuerpos celestes	Gravedad, fuerza de Coriolis
Transmarea	Más de 24 (h)	-	0 a 12 (m)	Oscilaciones climáticas	Gravedad, fuerza de Coriolis

Tabla N°1.2 Clasificación de las ondas por su periodo (Johnsonetal, 1978)
 Fuente: Análisis y Descripción Estadística del Oleaje, Tabla 1.1 (Silva, 2005)

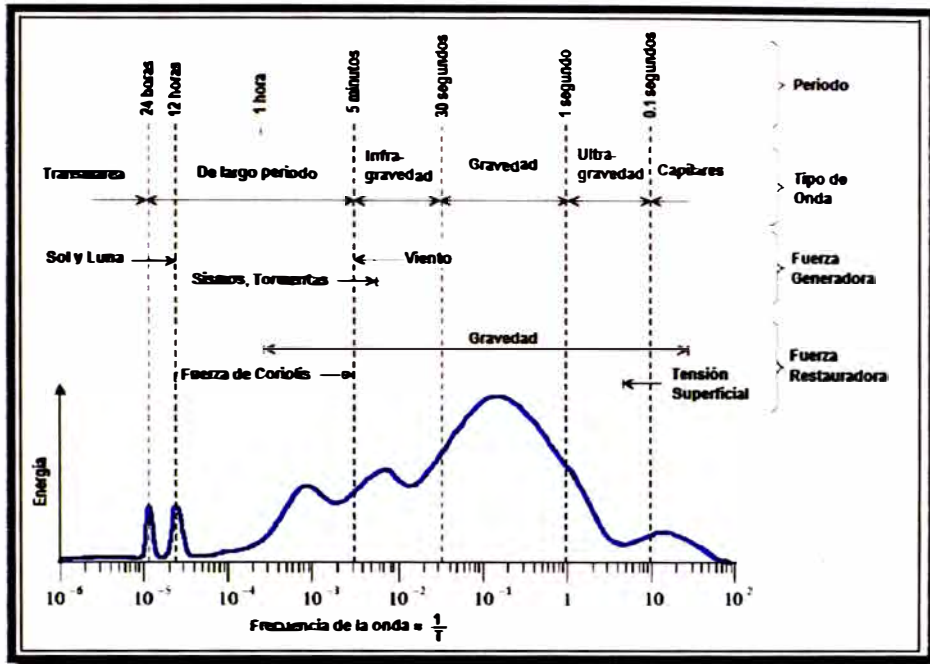


Figura N°1.43 Período – Energía de las Ondas

Fuente: Análisis y Descripción Estadística del Oleaje, Figura 1.1 (Silva, 2005)

Las olas pueden tener diversas características dependiendo de las fuerzas que influyen en su generación, pudiéndose distinguir dos tipos extremos de oleaje, entre los cuales existen un sinnúmero de estados intermedios. Se denominan por las palabras inglesas, universalmente aceptadas: Sea (Oleaje local) y Swell (oleaje distante).

Existe, además, el oleaje en aguas interiores, presente en sectores como lagos, estuarios y canales interiores.

A. Oleaje Local (SEA)

Este oleaje es creado por influencia de vientos locales, como se aprecia en la fig. N°1.44, a los cuales se les denomina “Sea”, se caracteriza por tener períodos aproximadamente entre 4 a 8 segundos.

Las características que definen este tipo de oleaje son:

- Gran irregularidad, ya que la altura de la superficie líquida es impredecible y carece de tener un período.

- Asimetría ya que presenta gran desigualdad entre la forma del valle y la cresta de las olas.

Gran peralte de las olas. Las olas presentan una altura relativamente grande para su longitud de onda.



Figura N°1.44 Oleaje tipo SEA

Fuente: Análisis y Descripción Estadística del Oleaje

B. *Oleaje Distante (SWELL)*

Este tipo de oleaje, mostrado en la fig. N°1.45, se puede observar sobre la plataforma costera, siendo el oleaje que se acerca a la costa es más regular, forma frentes de cresta muy grandes y las diferencias entre periodos y longitudes de onda son mínimas, tienen periodos definidos y se presentan ciertas direcciones predominantes.

Una característica es poseer periodos de 10 a 25 segundos y por eso se denomina "Swell".

Cuando el oleaje se propaga y se aleja del área de generación ocurren tres fenómenos:

- a) Pierden energía, las olas viajan a costa de su propia energía.
- b) El oleaje sufre una doble dispersión. Una angular, en la que las olas se dispersan en todas direcciones, y otra radial, debida a que la velocidad es

función directa del periodo, por lo que las olas más largas viajan más rápido que las más cortas.

- c) Las ondas de periodos similares se fusionan en largas crestas de onda, lo cual origina que la superficie caótica se simplifique.



Figura N°1.45 Oleaje tipo SWELL

Fuente: Análisis y Descripción Estadística del Oleaje

1.8.3 Oleaje Regular

Las teorías de oleaje son una aproximación a la realidad, se explicaran algunas formulaciones básicas correspondientes a la Teoría Lineal del Oleaje que se refiere a la partícula del agua, específicamente a su simplificación unidireccional.

El oleaje progresivo puede ser representado espacialmente con la variable x y temporalmente con la variable t y su combinación (fase) está definida por:

$$\theta = kx - \omega t$$

Los valores de θ varían entre 0 y 2π . Los parámetros presentados en la figura N°1.46 muestran una ola progresiva sinusoidal que pasa por un punto del océano, la cual puede ser caracterizada por un periodo (T), altura (H), longitud de onda (L) y profundidad (d).

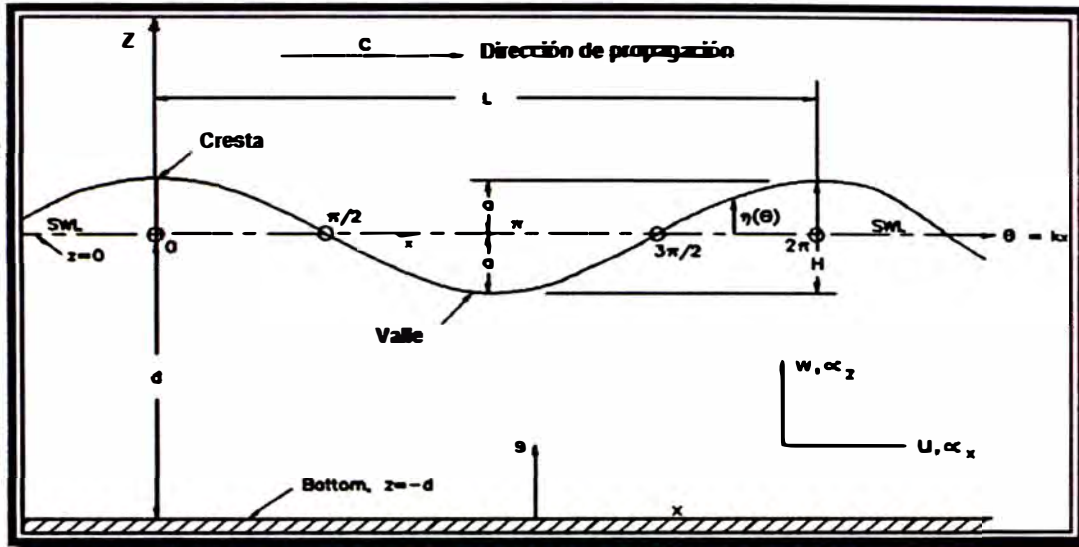


Figura N°1.46 Términos elementales de una ola progresiva

Fuente: Coastal Engineering Manual

Se asume que la amplitud de ola de la cresta es igual a la del valle, por tanto, la altura de ola es dos veces la amplitud de la misma.

Los parámetros k y ω son el “número de ola” y “frecuencia angular”, respectivamente, y se presentan en las siguientes ecuaciones:

$$K = \frac{2\pi}{L}$$

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

Considerando estos parámetros, es posible definir la desnivelación de la superficie libre como según la ecuación:

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

La frecuencia cíclica f la cual es definida de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{T}$$

La velocidad de propagación de las ondas se le denomina “celeridad” o “velocidad de fase” y viene dada por la relación:

$$C = \frac{L}{T} = \frac{\omega}{k}$$

En las teorías de oleaje utilizan una serie de parámetros adimensionales para caracterizar el oleaje. Los cuales son:

a) Pendiente de la onda (ε)

$$\varepsilon = \frac{H}{L}$$

b) Altura relativa de onda (δ)

$$\delta = \frac{H}{d}$$

c) Profundidad relativa (μ)

$$\mu = \frac{d}{L}$$

Además, es usual utilizar los parámetros adimensionales que se presentan en las siguientes relaciones:

$$\frac{H}{gT^2} \quad y \quad \frac{d}{gT^2}$$

Otro parámetro utilizado es el número de Ursell que se emplea para definir, entre otras cosas, el régimen al que corresponden las ondas, por tanto, a seleccionar la teoría adecuada para cada caso.

$$U_r = H \frac{L^2}{d^3} = \frac{\delta}{\mu^2}$$

1.8.3.1 Teoría lineal de Ondas

Esta fue desarrollada por Airy en 1847 y se caracteriza por su fácil aplicación y entrega de aproximaciones razonables para de las características del oleaje.

Los supuestos que considera la teoría lineal de ondas son:

- a) El fluido es homogéneo e incompresible (densidad constante).
- b) La tensión superficial es despreciable.
- c) El efecto Coriolis puede ser despreciado.

- d) La presión en la superficie libre es uniforme y constante.
- e) El fluido es ideal o no viscoso.
- f) El fluido es irrotacional.
- g) El fondo es horizontal, impermeable, la velocidad vertical en el fondo es cero.
- h) La amplitud de la ola es pequeña y su forma no varía en el tiempo y el espacio.
- i) Las olas son planas (fenómeno bidimensional)

Donde:

L: Longitud de onda, m

T: Período, s

d: Profundidad del agua, m

C: Velocidad, m/s

1.8.3.2 Energía del Oleaje

La energía del oleaje se descompone en:

- a) La energía cinética por unidad de ancho es la porción de energía debido a la velocidad de las partículas de agua asociado al movimiento del agua y está dada por la siguiente ecuación:

$$E_k = \frac{1}{16} \rho g H^2 L$$

- b) La energía potencial por unidad de ancho es la energía que se genera por la masa del fluido que está en la cresta de la ola y se define por la siguiente formulación:

$$E_p = \frac{1}{16} \rho g H^2 L$$

La energía total por unidad de ancho es la suma de la energía cinética y potencial que vendría a ser:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 L$$

La energía total de oleaje por unidad de superficie o densidad de Energía es:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

El flujo de energía del oleaje es la tasa a la cual la energía es transmitida en dirección a la propagación del oleaje, en su sección y en la extensión de la profundidad donde se propaga.

Asumiendo que se mantiene la teoría lineal de oleaje, el flujo medio de energía por unidad de ancho de cresta, de una onda transmitida a través de un plano vertical perpendicular a la dirección de propagación es:

$$P = EC_g$$

1.8.3.3 Teoría No lineal de Ondas

Para algunos casos donde no se cumplan las condiciones anteriores se utilizan teorías no lineales de oleaje, las cuales tienen una complejidad superior a teorías como las de Airy, debido principalmente a su no linealidad.

Anteriormente se definió el número de Ursell. Este parámetro es utilizado para seleccionar la teoría de oleaje adecuada ingresando valores de longitud y altura de ola, y profundidad.

Los valores altos de Ur nos indican una amplitud finita, ondas largas, oleaje en aguas someras, por lo tanto que se necesitan la utilización de teorías no lineales.

Las Teorías No Lineales permiten describir fenómenos de transporte de masa, donde hay un pequeño movimiento neto durante el paso de una onda, la solución se da mediante aproximaciones sucesivas.

El desarrollo de las teorías no lineales de oleajes abarca la superficie libre del oleaje. Algunas de estas teorías son:

- a) Cnoidal
- b) Onda solitaria
- c) Stokes

1.8.4 Oleaje Irregular

Se refiere al mar natural donde se espera que las características del oleaje tengan una variabilidad estadística, a diferencia del oleaje regular que tiene propiedades constantes.

En la figura N°1.47, se muestra un registro de olas, donde es posible ver que existe una irregularidad que se presentan en el tiempo.

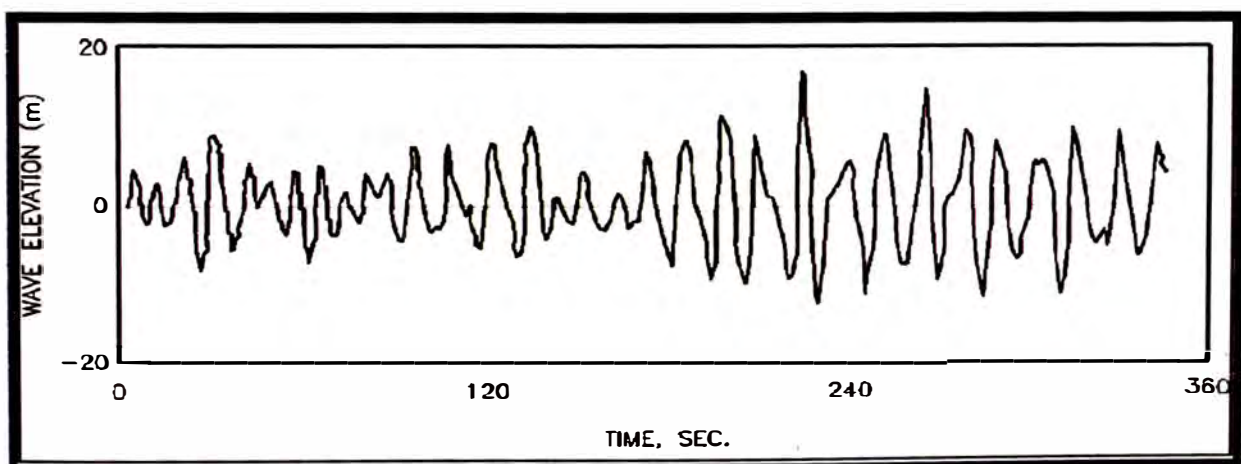


Figura N°1.47 Oleaje Irregular de una ola progresiva

Fuente: Coastal Engineering Manual

CAPÍTULO II: GENERALIDADES DE DISEÑO

En el segundo capítulo se procede a presentar los aspectos principales y de interés, a abordarse en el diseño de una obra portuaria, teniendo en consideración las condiciones naturales, la utilización actual, la disponibilidad de materiales y la demanda social a las estructuras portuarias.

Es importante recalcar que los criterios de diseño presentados, se entenderán como mínimos, de manera que cualquier omisión que se efectúe en ellos y que se estimen de importancia para el desarrollo de la ingeniería, deberá ser subsanado conforme a las normas y usos que provean una adecuada realización técnica del proyecto.

Las condiciones para el diseño se tienen que determinar con cuidado, puesto que tienen gran influencia en la seguridad, en las funciones de las estructuras y en el costo de construcción.

En el presente capítulo, se inicia con la explicación de lo que representa la vida útil, siguiendo con la definición de los estados límites; posteriormente se explica los estados de carga y combinaciones, finalizando con la explicación de los métodos de diseño. Cabe destacar que aunque se trata de una presentación a detalle de los posibles componentes, se explicará con mayor énfasis en los capítulos III y IV, tanto en las obras de abrigo como en las obras de atraque y amarre, respectivamente.

2.1 VIDA UTIL

Está en función de varios factores, entre ellos, el factor fundamental es la inversión, que se realizará en función de la demanda. La propuesta económica, obtenida mediante la curva de Inversión vs Mantenimiento, es vital para determinar la vida útil.

En el Perú, para las concesiones se plantea un diseño para 50 años. Así, el Estado tiene un margen de décadas, para poder administrarlo directamente, al concluir la concesión.

Conceptualmente, la vida útil hace referencia al periodo desde cuándo se construye hasta cuando la obra cumple con la función principal para la cual fue diseñada.

Para determinar la vida útil del proyecto, es necesario considerar las siguientes condicionantes:

- El tipo de obra y el objetivo de las instalaciones
- Niveles de seguridad requeridos y los riesgos máximos admisibles
- Condiciones de uso del entorno
- Características de la flota de buques que operará en la zona en los diferentes años dentro de la Vida útil.
- Efectos ambientales de la vida útil.

Normalmente los proyectos portuarios en el Perú se diseñan considerando una vida útil de 50 años, como se detalla en la tabla N°2.1.

Tabla N°2.1 Vida útil de proyectos portuarios en el país

Clase	Vida útil de diseño(años)	Ejemplo
1	1-5	Estructuras temporales
2	25	Elementos estructurales reemplazables
3	50	Estructuras y construcciones públicas. Estructuras que no clasifiquen en la clase 4
4	100 o más	Estructuras de tipo: conmemorativo, especiales, alta importancia y de larga escala temporal

Elaboración Propia

2.2 ESTADO LÍMITE

Hace referencia a la condición que de ser rebasada, haría que la estructura dejara de cumplir su pretendida función, ya sea por un colapso estructural total o parcial, o por una pérdida significativa de funcionalidad.

Una estructura debe diseñarse para todos los modos de falla o estados límite. Existen tres tipos de estados límites: de servicio, operativo y de resistencia (ROM 2.0, Capítulo 2)

2.2.1 Estado Límite de Servicio (ELS)

Es un tipo de estado límite relacionado a condiciones de funcionamiento, cuyo incumplimiento puede afectar el normal uso de la obra, produciendo una pérdida de funcionalidad o deterioro de la estructura, pero no un riesgo a corto plazo.

Cuando un estado límite de servicio es rebasado, no es tan crítico como cuando sí es sobrepasado el estado límite de resistencia. Se trata de un problema poco importante o reversible (se puede reparar).

Algunos ejemplos típicos son: lavado del núcleo, colmatación del manto principal o fisuración excesiva.

2.2.2 Estado Límite Operativo (ELO)

Son reversibles y aunque ponen la estructura temporalmente fuera de servicio, es posible repararla y puede estar plenamente operativa cuando cesa el agente que está causando el modo de fallo.

2.2.3 Estado Límite de Resistencia (ELR)

Llamado también Estado Límite Último (ELU) y está vinculado con la capacidad resistente ante cargas últimas, tal que de ser rebasado, la estructura completa o una parte de la misma queda fuera de servicio completamente, relacionándose

directamente con la seguridad estructural para prevenir el daño y colapso y con los modos de fallo que producen la pérdida de capacidad estructural.

Por esa razón, los coeficientes de seguridad usados en los cálculos son considerablemente mayores que en otro tipo de estados límite. Y varían según el tipo de sollicitación actuante, requiriéndose verificar varios de ellos para un mismo componente.

Algunos de los estados límites últimos más usuales son: pérdida de estabilidad global (desliza como una ladera), asentamiento excesivo, deslizamiento, vuelco, hundimiento, rotura del espaldón, socavación de pie del espaldón, etc.

2.3 ESTADOS DE CARGA Y COMBINACIONES

2.3.1 Estados de Carga

En general, estas cargas pueden ser divididas en dos grandes grupos: cargas permanentes y cargas transitorias (cargas de uso y explotación, hidráulico, de viento y cargas sísmicas).

2.3.1.1 Clasificación de las Cargas

A continuación, se muestra la clasificación usual de las cargas:

- a. Variación en el espacio:
 - i. Cargas fijas: Su repartición sobre la estructura está definida por medio de un sólo parámetro.
 - ii. Cargas móviles: Dentro de límites dados, pueden ser arbitrariamente repartidas sobre la estructura.

- b. Estado inercial:
- i. Cargas estáticas: Su variación en el tiempo es muy pequeña de modo que las aceleraciones que se generan son despreciables y no introducen esfuerzos significativos en la estructura o elementos estructurales.
 - ii. Cargas dinámicas: Su aplicación genera aceleraciones significativas en la estructura o elementos resistentes y el desarrollo de fuerzas inerciales.
- c. Variación en el tiempo:
- i. Cargas permanentes: Corresponden a cargas esencialmente gravitatorias, que actúan en todo momento y durante las fases del proyecto, siendo constantes en posición y magnitud, o no constantes, de variación lenta o despreciable, en comparación a su valor medio.

En base a la definición se deben incluir bajo este concepto a:

- Peso propio de elementos estructurales y terminaciones.
 - Peso propio de equipos fijos e instalaciones.
 - Contenido normal de recipientes, tolvas, correas y equipos.
 - Peso de ductos sin acumulaciones ni incrustaciones.
 - Cargas hidráulicas o de terreno permanentes.
- ii. Cargas variables: Son cargas externas a la obra en sí, cuya magnitud y/o posición es variable a lo largo del tiempo de forma frecuente o continúa. Ejemplos de este tipo de carga, son:

- Empuje Hidráulico

Son cargas asociadas a niveles de agua y/o al nivel freático, pudiendo subdividirse en presiones hidrostáticas y presiones hidrodinámicas, asociadas a gradientes hidráulicos.

- Empuje de suelo

Corresponden a presiones o empujes generados por la actuación directa de un terreno natural o de un relleno, o por una actuación indirecta de otras cargas a través de él.

- Cargas variables de uso o explotación

Son cargas asociadas al uso diario de la estructura resistente, las cuales pueden variar en posición y magnitud durante la fase de vida que se analice. Entre ellas, podemos nombrar: sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento, de equipos e instalaciones de manipulación de mercancía, de tráfico y por operación de buques.

- Cargas Medioambientales

Se producen por la acción de fenómenos naturales, climáticos o medioambientales, aplicadas a la estructura resistente o sobre elementos que actúan sobre ella. Entre éstas se encuentran: cargas debido al oleaje, debido a las corrientes, debido a variaciones de marea, de viento y precipitaciones.

- Cargas de Construcción

Son cargas transitorias asociadas específicamente al proceso de ejecución y puesta en obra. Pueden ser cargas externas durante la fabricación, durante el transporte, durante la instalación y otras.

- Cargas de Deformación

Son cargas producidas por deformaciones impuestas pudiendo ser deformaciones por pretensado, térmicas, reológicas y por los movimientos impuestos.

iii. Cargas accidentales o eventuales

Son aquellas cargas que pueden presentarse como resultado de algún accidente, error humano, mal uso o por condiciones sub-estándares de trabajo.

Tienen poca probabilidad de actuación pero en el caso de producirse, su efecto puede ser significativo para la seguridad de la misma. Generalmente, se presentan asociadas a cargas variables, como valores diferenciados de las mismas para la fase de servicio y condiciones excepcionales de trabajo.

Para el dimensionamiento de obras marítimas se consideran principalmente las siguientes cargas accidentales:

- Acciones y sobrecargas producidas por un sismo y por otras condiciones medioambientales eventuales.
- Pruebas de carga.
- Inundaciones debidas a roturas de canalizaciones o depósitos.
- Fallas del sistema de drenaje.
- Empujes debido a inestabilidades del suelo.
- Depósitos y sobredragado.
- Impactos y sobrecargas debido a maniobras excepcionales de distintos medios de transporte o de buques de proyecto.

2.3.2 Peso Propio

Consistirá en el peso de toda la estructura incluyendo el peso de todos los elementos resistentes y de los elementos no resistentes como el peso de elementos constructivos, pavimentos, equipamiento, instalaciones fijas, rellenos, lastres y adherencias marinas.

Es preferible que los pesos del equipamiento y de las instalaciones sean obtenidos directamente de los fabricantes y proveedores, o mediante pesadas directas de los elementos correspondientes. Y además, es importante que en la

determinación del peso propio, se incluya una estimación realista del incremento de la carga en el tiempo.

En el caso de los pesos unitarios de los distintos materiales, se usarán los valores indicados en el anexo 1 de la norma peruana de cargas E020. Los casos especiales o no incluidos en dichas normas se analizarán puntualmente, con la debida justificación. Algunos pesos unitarios son presentados en la tabla N°2.2.

Tabla N°2.2 Pesos Unitarios de materiales de construcción

Material	Densidad(kgf/m ³)
Acero laminado	7850
Hierro fundido	7200
Concreto armado	2400
Arena, limo o arcilla compactados	1925
Grava y arenas secas	1600

Fuente: Norma Peruana E020

2.3.3 Empujes del Suelo

Depende tanto de la naturaleza del suelo como del tipo de estructura, ya que se trata de un problema de interacción entre ambos.

Por un lado, vienen a ser las presiones, empujes y otros esfuerzos ejercidos por un terreno natural o relleno, sobre los distintos elementos de una estructura resistente; o por otro lado, las reacciones que tales estructuras pueden originar en el terreno para lograr su equilibrio.

Estos esfuerzos serán debido a:

- La actuación directa del terreno
- La actuación indirecta de otras cargas a través de él

- Acciones inducidas por movimientos de la estructura resistente.
- Acciones inducidas por movimientos del terreno no dependientes de la estructura analizada.

Las cargas ejercidas por el terreno sobre una estructura se determinan, principalmente, en función de los siguientes factores:

- Tipo de estructura.
- Comportamiento de la estructura (deformabilidad).
- Interacción suelo-estructura: posibilidad de movimientos del terreno.
- Características del terreno: características físicas del suelo, geometría de la masa de suelo, estratigrafía, grado de compactación y saturación, entre otras.
- Actuación indirecta de otras cargas a través del terreno o estructura.
- Nivel freático.
- Modificaciones o variaciones de las presiones intersticiales con respecto al estado hidrostático: proceso de consolidación, existencia de red de filtración, drenaje, agotamiento y presión artesiana.
- Método constructivo.
- Posibles modificaciones geométricas de la masa de suelo y de las condiciones de utilización de la estructura analizada durante su vida útil.

Para considerar la interacción suelo-estructura y para el cálculo de empujes de suelo, se acatarán las indicaciones sustentadas en el estudio específico de Mecánica de Suelos que deberá realizarse para el efecto. O de lo contrario se utilizará las recomendaciones de alguna norma adecuada a nuestra realidad.

2.3.4 Cargas Hidráulicas

Corresponde a las cargas producidas por el agua y otros líquidos, actuando predominantemente como aguas exteriores libres, nivel freático en rellenos y terrenos naturales, evaluándola como la presión en dirección normal a la superficie que se considere.

Esta presión, será evaluada mediante la siguiente expresión:

$$P_W = \gamma_W \cdot z$$

γ_W : Peso específico del agua u otro líquido

z : Altura del nivel piezómetro en el punto de determinación.

Asimismo, se puede dividir en presiones hidrostáticas y presiones hidrodinámicas asociadas a gradientes hidráulicos. Sin embargo, las cargas debidas al oleaje y corrientes, tanto en lo que se refiere a variaciones de los niveles de agua como a los aspectos dinámicos del agua en movimiento, no son consideradas cargas hidráulicas.

2.3.5 Sobrecargas

Son las cargas debido al tráfico y permanencia de personas, cargas debido a la operación de vehículos, y presiones de gases, líquidos o materiales granulares que son o pueden ser variables en el tiempo en condiciones de uso normales. Se muestra en la tabla N° 2.3.

Asimismo, las sobrecargas de almacenamiento, son cargas variables generadas principalmente por el peso de materiales, suministros o mercancías almacenadas o apiladas en el interior de instalaciones para su transporte y manipulación, cuya actuación y distribución es constante durante un periodo de tiempo más o menos prolongado.

En general, las sobrecargas son medibles en función y uso de los espacios y para ello se considera la situación más desfavorable para el elemento estructural analizado.

De no disponer de información válida, tanto de la sobrecarga como de su probabilidad de ocurrencia, se pueden tomar como valores mínimos, las recomendaciones de la norma técnica peruana de cargas E020.

Tabla N°2.3 Sobrecargas estimadas ROM 2.0

Elemento	Sobrecarga Normal (kg/m ²)	Sobrecarga sísmica (kg/m ²)
Áreas de almacenamiento pesado	5.000	2.500
Edificios para instalaciones eléctricas	1.500	375
Áreas de almacenamiento liviano	750	188
Diques de alba	500	125
Plataformas, pasillos principales, pisos de casetas de transferencia y pisos de plantas de charcado	500	125
Pasillos de cintas transportadoras	250	63
Piso de oficinas, casas de cambio, plataformas menores, etc.	250	63
Techos	100	-
Muelle y puente de acceso*	1.000	500

* Muelles prefabricados y/o con vigas de cañón tipo 374

Fuente: ROM 2.0

2.3.6 Sistemas de transporte y manipulación de carga

Los sistemas de manipulación de carga y transporte dentro de un puerto pueden ser clasificados como:

- Equipos fijos y montados sobre rieles
- Fajas transportadoras y tuberías
- Grúas móviles
- Tráfico vehicular

Para una correcta manipulación de la cargas y para evitar contratiempos, es muy importante considerar la velocidad que actúa sobre la grúa en acción. Por ello, generalmente, cuando las velocidades de viento son altas, las operaciones de las grúas son detenidas por precaución.

2.3.6.1 Equipos fijos y montados sobre rieles

Tomando en cuenta las cargas muertas, cargas vivas y los efectos de viento, las solicitaciones deberán ser calculadas para el equipo que sea instalado, señalado en la fig. N°2.1, considerando las fuerzas verticales y horizontales. Las cargas vivas deben incluir los efectos dinámicos originados de desplazamiento, de giro, frenado y de elevación.



Figura N°2.1 Equipos sobre rieles y montados

Fuente: Muelle Norte DP World -Callao

2.3.6.2 Fajas transparentes y tuberías

Las cargas generadas por una faja transportadora como la de la fig. N°2.2, serán calculadas para cada instalación considerando la tasa de transporte, densidad del material, cambios de dirección, efectos de temperatura y tipos de soporte.



Figura N°2.2 Faja Transportadora (TC)

Fuente: Puerto del Callao-Perú

2.3.6.3 Grúas móviles

Las cargas generadas por las grúas móviles observadas en la fig. N°2.3, deberán ser consideradas en base a los catálogos y recomendaciones del fabricante.



Figura N°2.3 Grúas móviles en el puerto del Callao
Elaboración Propia

2.3.6.4 Tráfico vehicular

Producto del tráfico vehicular se generan cargas, que serán tomadas en cuenta en base a las recomendaciones de la norma AASHTO actual. En la mencionada norma, se explica a detalle el camión estándar de diseño HL93, el cual es presentado en el gráfico N°2.4..

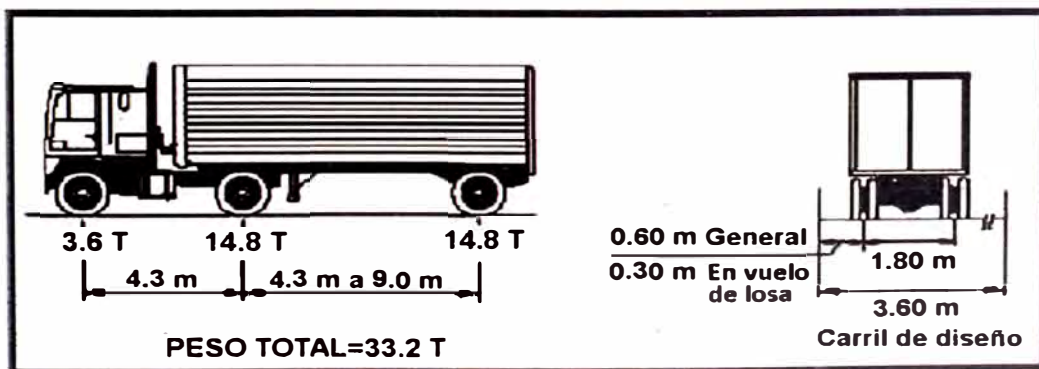


Figura N°2.4 Características del camión llevando
Fuente: Norma AASHTO

2.3.6.5 Factor de impacto

La norma AASHTO establece que se deberá usar un factor de impacto sobre las cargas de rueda para el diseño de elementos estructurales que estén solicitados por equipos móviles o estáticos en operación. Por ello, se presenta la tabla N°2.4, donde se indican los factores a usar en el diseño de una estructura portuaria.

Tabla N°2.4 Cargas de impacto vertical en estructuras portuarias

Equipos de Transporte y Manejo de Carga	Impacto
Grúas y equipos montados sobre rieles	25%
Equipos y vehículos sobre ruedas neumáticas: camiones, grúas, grúas horquillas, etc.	15%
Ferrocarriles	20%

Fuente: Unfield Facilities Criteria UFC-4-152-01

2.3.6.6 Incrustaciones

Las estructuras de soporte de correas (fig. N°2.5), se diseñarán para cargas adicionales equivalentes al 10% de la sobrecarga de material transportado por la correa.



Figura N°2.5 Estructura de soporte – Faja transportadora

Fuente: <http://www.daconv.com/productos.htm>

2.3.6.7 Chutes y Tolvas

Las estructuras que conforman los chutes y tolvas como se observa en la fig. N°2.6 serán diseñadas considerando el caso en que se encuentren llenas de material.



Figura N°2.6 Chutes y Tolvas

Fuente: Puerto Buenaventura-Colombia

2.3.7 Efectos de las embarcaciones

2.3.7.1 Buque de Diseño

La nave de diseño descrita en la figura N°2.7, se debe considerar en relación al tipo de carga a transferir por el sitio que se proyecte. Además, será necesario definir como barco de diseño, al que represente a los diferentes tipos de barcos y condiciones de carga con las que operaran en el área que se analice, con el objeto de asegurar que el dimensionamiento realizado permita la operación en condiciones de seguridad.

Las dimensiones de las embarcaciones de diseño deberán ser establecidas de acuerdo a los métodos propuestos en los siguientes ítems:

- En el caso donde la embarcación de diseño es identificable se deben usar las dimensiones de ésta.
- En el caso donde la embarcación de diseño no es conocida, las dimensiones deberán ser apropiadamente establecidas basadas en análisis estadísticos de las dimensiones de los barcos en operación.

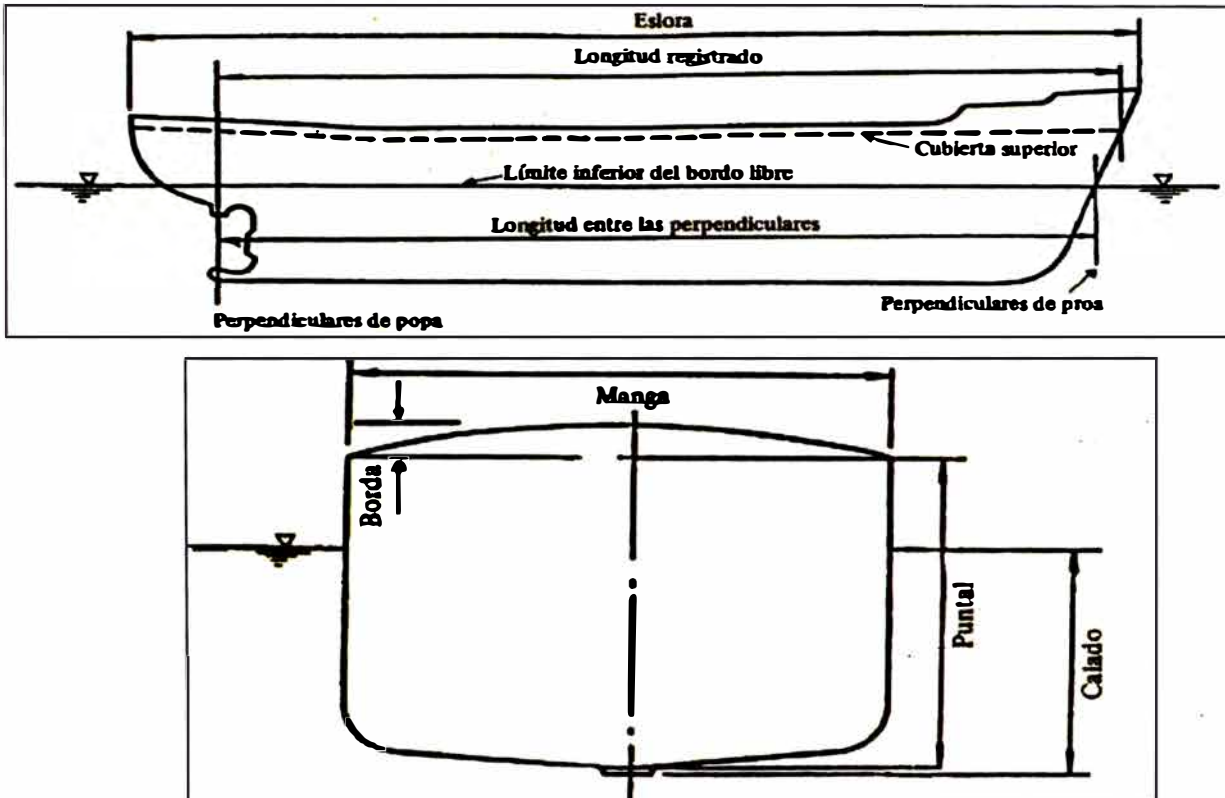


Figura N°2.7 Nave de Diseño
Elaboración Propia

2.3.7.2 Cargas de Atraque

Al atracar el buque, se produce el primer contacto entre éste y la estructura de atraque, generando sobrecargas de operación hasta que finalmente se alcanza el reposo.

La magnitud de estas cargas es determinada en relación directa con el tipo y características de la embarcación (tamaño y velocidad) y el sistema de defensa

de la estructura de atraque. Debido a ello, para todos los casos de estructuras de atraque, estas cargas son una consideración de diseño predominante.

Asimismo, es importante tener en cuenta que siempre es posible que ocurran impactos catastróficos debido a embarcaciones fuera de control. Las previsiones necesarias, particularmente si vulneran tuberías de petróleo o gas, deberán ser consideradas en relación a las consecuencias, con respecto al riesgo de pérdida de vidas o daño medioambiental y el costo de las reparaciones.

Para la estimación de la energía y fuerzas de atraque, se deberá considerar las velocidades y ángulos de atraque de las naves; se seleccionará un sistema de defensa adecuado, de modo que se logre un mínimo de traspaso de fuerza reactiva hacia la estructura y un mínimo de presión sobre el casco de las naves acorde a las recomendaciones técnicas.

En la presente tesis, se considerará las recomendaciones japonesas (Technical Standards for Ports and Harbour Facilities in Japan) para el cálculo y cuantificación de la carga de atraque, que se basa en la energía de atraque.

↳ Energía de Atraque

Durante el proceso de atraque de las embarcaciones, una cantidad considerable de energía es generada pudiendo ser calculada, a partir de la masa y velocidad de atraque de la embarcación, de los factores de excentricidad, tonelaje del barco y factores de flexibilidad y de configuración del atraque.

Ésta puede ser calculada con la ecuación siguiente:

$$E_A = \frac{1}{2} \cdot M_s \cdot V_b^2 \cdot C_e \cdot C_m \cdot C_s \cdot C_c$$

Dónde:

E_A : Energía atraque del barco, kN m

M_s : Tonelaje del barco o peso virtual del mismo(T)

V : Velocidad de atraque, m/s (medida in situ o tabulada en la norma correspondiente)

- Ce : Factor de excentricidad
- Cm : Factor de masa virtual
- Cs : Factor de suavidad
- Cc : Factor de configuración del atraque

a. Masa de la embarcación(Ms)

La masa de la embarcación a utilizar en la ecuación anterior para el cálculo de la energía de atraque puede ser calculada mediante la siguiente expresión:

$$Ms = D + \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L \cdot W_o$$

Dónde:

Ms: Tonelaje del barco o peso virtual del mismo (T)

D : Calado

L : Largo del barco o eslora

W_o: Peso específico del agua de mar.

b. Velocidad de atraque

Se calculará tomando en cuenta, mediciones reales o referencias de mediciones previas y considerando el tipo de embarcación de diseño, condiciones de carga, localización y restructuración de las instalaciones de amarre, fenómenos meteorológicos y oceanográficos, el uso de lancha remolcadora, etc.

En base a datos empíricos recolectados, la norma japonesa preparó una relación entre las condiciones de maniobra de la embarcación y la velocidad de atraque por tamaño de embarcación, detallada en la fig. N°2.8, indicando que la velocidad de atraque será mayor en los casos en que la instalación de atraque no se encuentre protegida.

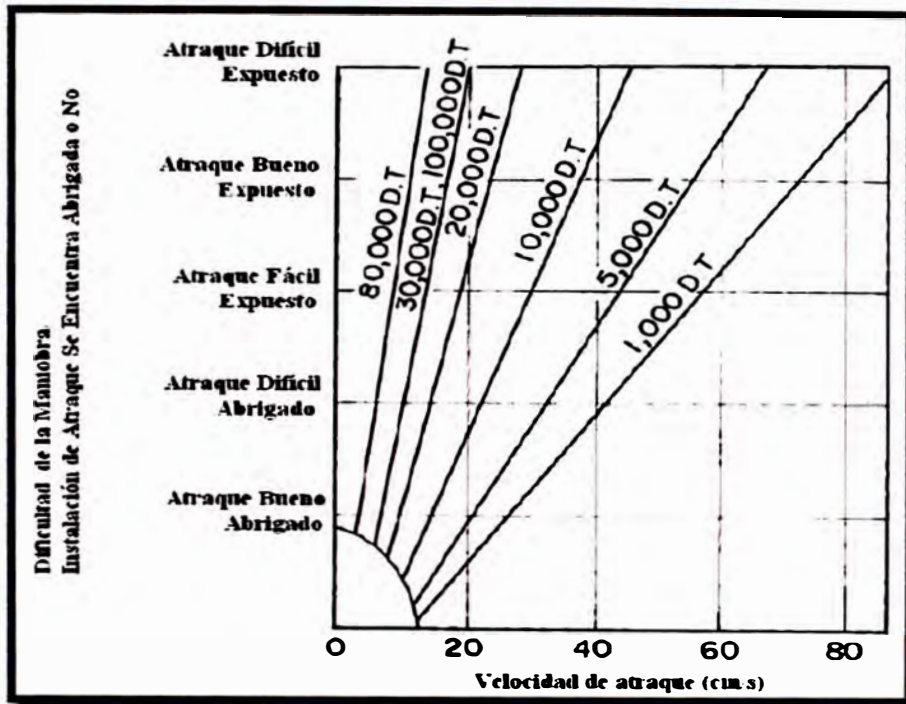


Figura N°2.8 Condiciones de maniobra en función de la velocidad y tamaño

Fuente: Technical Standard and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan

c. Factor de masa virtual (Cm)

Al momento del atraque de una embarcación, representada en la fig. N°2.9, el movimiento del buque entre las y el movimiento del agua alrededor del barco, está relacionado a través del incremento del factor masa virtual que determina el incremento de la masa del sistema. Puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$Cm = 1 + \frac{\pi}{2 \cdot Cb} * \frac{D}{B}$$

$$Cb = \frac{\nabla}{Lpp \cdot B \cdot D}$$

Dónde:

Cb: Coeficiente de bloque de la embarcación.

∇: Volumen de desplazamiento de la embarcación (DT/gw), m³

Lpp: Eslora entre perpendiculares, m

B: Manga, m

D: Calado máximo de la embarcación, m

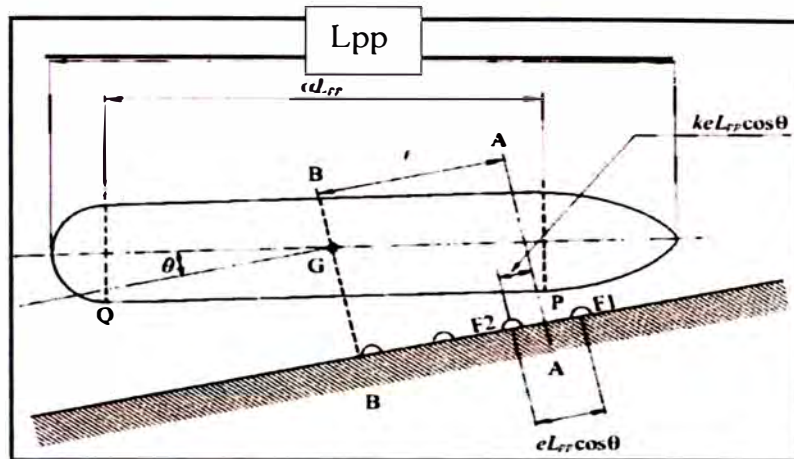


Figura Nº2.9 Ilustración esquemática del atraque de una embarcación

Fuente: Technical Standard and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan

El factor de excentricidad se calcula con la ecuación siguiente:

$$Ce = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r_t}\right)^2}$$

Dónde:

l : Distancia, medida paralela a la línea de atraque, desde el punto de contacto del barco hasta su centro de gravedad, m.

r_t : Radio de rotación alrededor del eje vertical, que pasa a través del centro de gravedad de la embarcación (m).

$$r_t = (0.19C_b + 0.11) \cdot Lpp$$

d. Coeficiente de suavidad (Cs)

Hace referencia a la relación entre la energía de atraque absorbida por la deformación del casco del barco y la energía de atraque del barco. El valor típico del coeficiente es por lo general Cs = 1, planteando que no se presenta absorción de energía por la deformación del casco.

e. Coeficiente de configuración del muelle(Cc)

Hace referencia al efecto originado por el volumen de agua comprimida entre la embarcación atracando y la estructura de atraque. Este volumen se comporta

como un colchón y provoca la disminución de la energía a ser absorbida por el sistema de defensa.

El valor típico del coeficiente de configuración del muelle es generalmente $C_c = 1$.

2.3.7.3 Carga de Amarre

Se refieren a las cargas impuestas por el atraque de un buque, a una estructura o sistema de defensa, a través del contacto entre estos y se manifiestan a través de fuerzas de tracción de las líneas de amarre, que actúan directamente sobre postes de amarre, bitas o bolardos.

La magnitud y forma de distribución de las cargas de amarre dependerá, en principio, de las características físicas y geométricas de los sistemas buque/amarras/defensas, diseñados para hacer frente a las acciones exteriores que actúan sobre el buque atracado. Y así, permitir maniobrabilidad en el buque atracado dentro de los límites de movimientos admisibles.

Las principales fuerzas exteriores, principalmente medioambientales, son:

- Viento
- Corrientes marinas
- Oleaje
- Mareas
- Ubicación del amarre en zonas con flujos y reflujos importantes de agua
- Paso de otros buques
- Carga y descarga del buque.

2.3.8 Variación de Temperatura

El clima local y los efectos que generan por la variación de la temperatura, deben ser tomados en el diseño de la estructura, ya que pueden generar expansión o contracción térmica de la estructura o generar esfuerzos por gradientes de temperatura en la estructura.

En condiciones favorables (estructura no sometida a gradientes de temperatura extremos) o si no se cuenta con información precisa, se podrán considerar como rango mínimo, la variación de 15 °C a 20 °C de T° y los esfuerzos en los elementos estructurales que genere.

Asimismo, se podrán utilizar los siguientes coeficientes principales de dilatación térmica:

$$\text{Acero: } \alpha = \frac{0.000012}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{Concreto: } \alpha = \frac{0.000011}{^{\circ}\text{C}}$$

Es posible prescindir del cálculo de esfuerzos térmicos, si se disponen de juntas de dilatación separadas como máximo por los siguientes valores:

- Estructuras de concreto armado: 40 m
- Estructuras de acero sujetas a un amplio rango de temperaturas: 120m
- Estructuras de acero no sujetas a un amplio rango de temperaturas: 150m

2.3.9 Acción del Viento

La dirección del viento en el Perú, tiene como dirección prevaleciente el del sur (S) y del suroeste (SW). La acción del viento sobre estructuras, indicada en la fig. N°2.10, puede representarse tanto por las presiones actuantes sobre cada una de las superficies de los mismos como por la fuerza total resultante. En los dos casos, la acción del viento será obtenida a partir del parámetro Presión Dinámica del Viento asociada a la velocidad del viento de proyecto, parámetro que también se denomina Presión Básica del Viento.

$$q = \frac{\rho}{2} \cdot V^2$$

q : Presión dinámica del viento asociada a la velocidad del proyecto

ρ : Densidad del aire (su valor estará en función de la humedad, temperatura y presión atmosférica)

V : Velocidad de viento

Es importante resaltar que además la carga resultante de la acción del viento, depende de la superficie de la estructura analizada y del coeficiente eólico, que a su vez depende de la disposición y características de la superficie

El análisis de carga de viento, en caso que predomine en el diseño, se efectuará de acuerdo a lo estipulado en la Norma Peruana E 020 de Cargas, de acuerdo a los registros locales de vientos o de acuerdo a las recomendaciones españolas y/o japonesas.

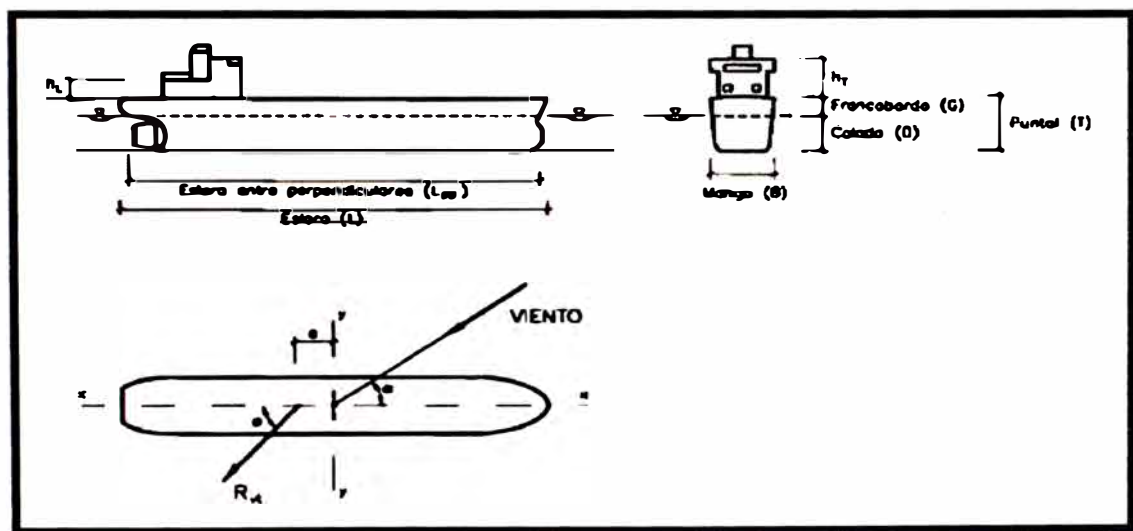


Figura N°2.10 Fuerzas de arrastre producidas por el viento sobre un buque

Fuente: ROM 2.0

2.3.10 Acción del oleaje

Es relevante y necesario analizar la incidencia del oleaje en todas las maniobras que se consideran del buque, aun cuando el área de navegación se encuentre resguardada, porque siempre se presentan olas, asociadas a la presencia del viento.

Todo movimiento del buque al desplazarse, de balance o cabeceo, que caracterizan la presencia del oleaje, modifica el flujo del agua produciendo un efecto de frenado por aumento de la resistencia.

Los efectos del mar descritos líneas arriba, son más notables cuanto más baja es la velocidad de propulsión del buque, y pueden variar si el viento y las olas provienen desde distintas direcciones.

Puesto que la norma española no da un mayor alcance, los criterios japoneses recomiendan fundamentalmente, analizar las fuerzas por oleaje en las estructuras portuarias, basándose principalmente en modelos físicos o fórmulas empíricas.

2.3.11 Acción de las corrientes marinas

El sistema de corrientes superficiales frente a las costas del Perú, tiene dirección hacia el Norte. La Figura N°2.11 presenta el esquema de dirección de las corrientes marinas. Superpuesta a estas corrientes está aquella que se produce debido al oleaje, que al aproximarse a la costa del 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 y caracterizar dicha corriente litoral que en algunos casos, al tener ésta una gran dinámica, puede ocasionar procesos de erosión y sedimentación importantes al ser interrumpidos en su trayectoria.

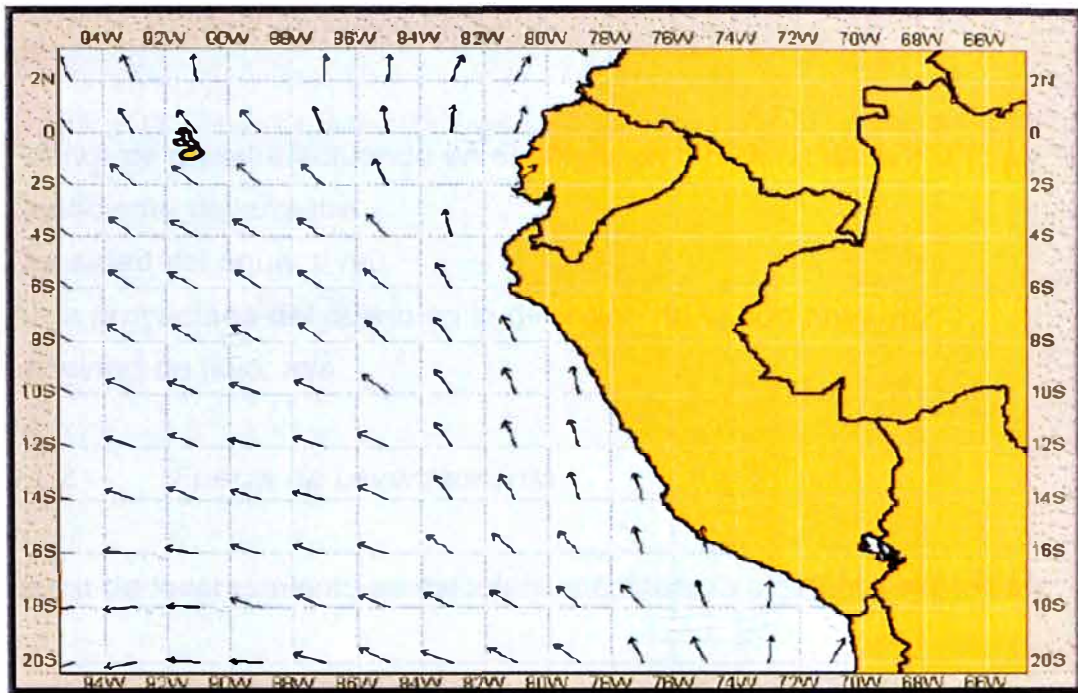


Figura N°2.11 Dirección de las corrientes en el Perú

Fuente: Dirección de Hidrografía y Navegación

La acción de las corrientes genera cargas hidráulicas que actúan en las estructuras que se encuentran en el agua o cercanas a la superficie del agua y son principalmente constantes, teniendo como componente variable a la frecuencia cuando se aproxima al periodo natural de la estructura.

Esta fuerza es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo y puede ser dividida en una fuerza de arrastre, actuando en la dirección de la corriente, y una fuerza de levantamiento, actuando en una dirección perpendicular a la corriente.

2.3.11.1 Fuerza de Arrastre

La fuerza de arrastre actúa en el centroide del área normal de la estructura y puede ser calculada mediante la siguiente expresión:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_w \cdot A_P \cdot U^2$$

Dónde:

F_D : Fuerza de arrastre actuando en el objeto en dirección de la corriente, kN

C_D : Coeficiente del arrastre.

ρ_w : Densidad del agua, t/ m³

A_P : Área proyectada del objeto en la dirección de la corriente, m²

U : Velocidad de flujo, m/s

2.3.11.2 Fuerza de Levantamiento

La fuerza de levantamiento se calculará mediante la siguiente expresión:

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho_w \cdot A_i \cdot U^2$$

Dónde:

F_L : Fuerza de levantamiento actuando en el objeto en dirección perpendicular a la corriente, kN

C_L : Coeficiente de levantamiento.

ρ_w : Densidad del agua, t/ m³

A_i : Área proyectada del objeto en la dirección perpendicular a la corriente, m²

U : Velocidad de flujo, m/s

2.3.12 Cargas Sísmicas

Debido a la alta sismicidad en el Perú, las cargas sísmicas son de suma importancia al momento de plantear el diseño de una estructura de atraque y amarre.

En la actualidad, no existe una Norma Peruana de diseño sísmoresistente para obras portuarias. No obstante lo anterior, la norma peruana E 030, aplicable a obras de edificación, definen para nuestro país la zonificación sísmica,

coeficientes relacionados con la importancia o uso de la obra, y la incidencia de las características del suelo de fundación sobre las sollicitaciones sísmicas.

Por tanto, al momento de determinar las cargas, el procedimiento de análisis y el diseño sísmico de estructuras marítimas, se debe utilizar la norma peruana de Diseño Sismoresistente E030. Y adicionalmente, en todo aquello que sea complementario, las recomendaciones establecidas en la publicación “Seismic Design Guidelines for Port Structures”, del Grupo de Trabajo N° 34 de PIANC. En particular, podrá utilizarse filosofías de diseño basadas en criterios de desempeño, como la especificada en la citada referencia, para todos los tipos de estructuras.

Los parámetros más importantes que definen el diseño sísmico de una estructura son, el factor de modificación de respuesta (R) y la razón de amortiguamiento (ε), que deben ser tomados en cuenta de la norma de Diseño Sismoresistente peruana.

2.3.13 Cargas Especiales

Son sobrecargas que entre otras son: las pruebas de carga, las cargas generadas por inundaciones debidas a roturas de canalizaciones o depósitos, por fallas del sistema de drenaje o de control de subpresiones, por elevación del nivel freático, por empujes debido a inestabilidades del suelo, por sobredragados, o por cargas de construcción como los distintos procesos de fabricación, montaje o puesta en marcha de la estructura resistente y de sus elementos durante la fase de construcción.

2.3.14 Análisis Sísmico

Las estructuras marítimas se diseñaran para resistir los esfuerzos sísmicos. Por esta razón, deben ser capaces de absorber una gran cantidad de energía más allá del rango elástico, antes que se produzca su ruptura, debiendo ser dúctiles, a fin de prevenir fallas frágiles o inestabilidades que produzcan el colapso de las estructuras. El análisis y diseño sísmico de estructuras marítimas y portuarias se realizará de acuerdo a la norma peruana E030, junto a las consideraciones

especiales inherentes a cada tipología estructural y a las recomendaciones de las normas internacionales que se adecuen a la realidad peruana. A continuación se muestra un diagrama de flujo de la evaluación del comportamiento sísmico en la figura N° 2.12 y en la tabla N° 2.5 se muestran las categorías de las estructuras portuarias según los efectos sísmicos.

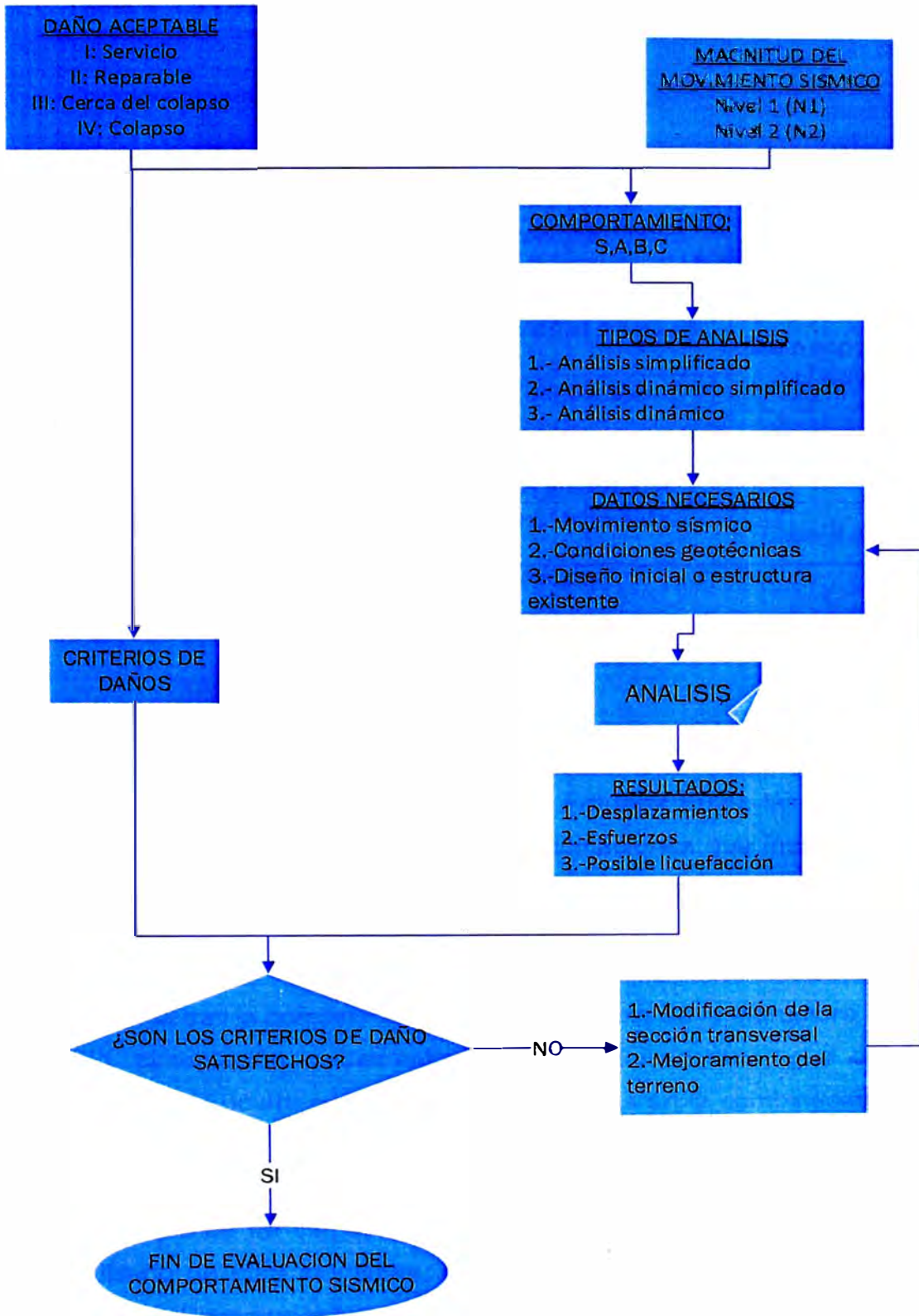


Figura N°2.12 Diagrama de flujo: Evaluación del comportamiento sísmico

Elaboración Propia

Tabla N°2.5 Definición basada en los efectos sísmicos a la estructura

Comportamiento	Definición basado en los efectos sísmicos a la estructura	Categorías de las estructuras portuarias
S	Estructuras críticas con alto potencial de pérdida humana.	Clase especial
	Estructuras críticas con altos daños materiales.	
A	Estructuras primarias con menores efectos en comparación al de grado S.	Clase especial o clase A
	Estructuras, que sus daños, son difíciles de restaurar.	
B	Estructuras ordinarias en comparación al del os grados S, A.	Clase A o B
C	Pequeñas estructuras, fácilmente restaurables.	Clase B o C

Elaboración Propia

2.3.15 Combinación de Cargas

De acuerdo a las disposiciones de la Norma Peruana E020, las combinaciones básicas de carga serán realizadas y las combinaciones que incluyan, acciones sísmicas que prevalecerán lo establecido en las Norma Peruana E030 según corresponda.

Debiéndose utilizar la combinación más desfavorable de la estructura, ya sea en el edificio, cimentación o elemento estructural considerado, que en algunos casos esto puede ocurrir cuando una o más cargas en la combinación no estén presentes.

Las combinaciones de carga, utilizadas habitualmente en la práctica peruana para el diseño de obra marítimas, eran obtenidas del Military Handbook, MIL-HDBK-1025/1 "Piers and Wharves".

2.4 MÉTODOS DE DISEÑO

2.4.1 Diseño por resistencia

2.4.1.1 Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD)

Este método precisa que las resistencias de diseño de los componentes estructurales igualen o superen la resistencia requerida de los componentes bajo la acción de las combinaciones de carga para LRFD.

En donde, las cargas de servicio son multiplicados por ciertos factores de carga o seguridad que son casi siempre mayores que 1,0 obteniéndose “cargas factorizadas” que varían dependiendo del tipo de combinación de las cargas.

Se dimensiona la estructura de tal manera que presente una resistencia última de diseño suficiente para resistir las cargas factorizadas. La cual se considera igual a la resistencia teórica o nominal (R_n) del miembro estructural, multiplicado por un factor de resistencia ϕ el cual es normalmente menor que 1,0. De tal manera, que se tome en cuenta las incertidumbres relativas a resistencias de los materiales, dimensiones y manos de obra.

$$R_u \leq \phi \cdot R_n$$

Dónde:

R_u : Resistencia requerida determinada por el análisis para las combinaciones de carga LRFD.

R_n : Resistencia nominal determinada de acuerdo a las disposiciones de la especificación.

ϕ : Factor de resistencia dado por la especificación para un estado limite en particular.

2.4.1.2 Diseño por resistencias Admisibles (ASD)

Este método de dimensionamiento de componentes estructurales indica que la resistencia admisible iguale o supere la resistencia requerida de los componentes bajo la acción de las combinaciones de carga ASD.

En donde, a la resistencia disponible se le hace referencia como la resistencia admisible que debe igualar o superar la resistencia requerida.

$$R_a \leq R_n / \Omega$$

Dónde:

R_a: Resistencia requerida determinada por análisis para las combinaciones de carga ASD.

R_n: Resistencia nominal determinada de acuerdo con las disposiciones de la especificación.

Ω: Factor de seguridad dado por las especificaciones para un estado limite particular.

2.4.2 Diseño por Desplazamiento

Con la intención de garantizar la prevención del colapso y distinto a las anteriores propuestas, este método no se enfoca en lograr una resistencia, sino que la estructura pueda garantizar un desplazamiento, proponiendo diseñar de modo que la estructura pueda ser capaz de absorber, sin colapsar, la demanda de desplazamiento.

CAPÍTULO III: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE ABRIGO

3.1 OBRAS DE ABRIGO

Se denominan así a las obras que generan protección frente a la acción del oleaje a las distintas áreas e instalaciones, buques, zonas de acceso, zonas de maniobras y sobre el conjunto de obras interiores de servicio. Además de ese objetivo principal pueden existir otros objetivos de carácter complementario.

La fuerza principal que actúa sobre una obra de abrigo es el oleaje. Una vez determinadas las características del oleaje dos son los métodos más comúnmente utilizados en el diseño:

3.1.1 Criterio de Riesgo

Se asume un determinado riesgo en la obra, esta decisión en cuanto al riesgo asumible la toma el proyectista. Este método utiliza el concepto de vida previsible de la obra.

La obra se encontrará en condiciones de perfecta explotación un período de "T" años. Se basa en determinar la probabilidad de que se generen daños superiores a los calculados durante el período L, esas probabilidades se traducen en riesgos para la obra (rotura o daño en la obra de abrigo)

3.1.2 Criterio económico

Se basa en evaluar dos tipos de costos:

- Costo de construcción de la obra.
- Pérdidas económicas en caso de destrucción de la obra.

Para diferentes alturas de ola de diseño se determinan los pesos P_i de los elementos del manto principal (talud) o los volúmenes de obra necesarios (vertical).

Este método se basa en la elaboración de una gráfica que relaciona para cada altura de ola de diseño el costo de la construcción de la obra de abrigo.

Si una determinada altura de ola de diseño es superada y la obra queda afectada serán necesario reparaciones y paralizaciones en el puerto, por lo tanto ello va a suponer aún mayores costos y pérdidas económicas en general.

Finalmente se determina la altura óptima económicamente de la ola de diseño.

3.2 CLASIFICACIÓN DE OBRAS DE ABRIGO SEGÚN LAS OLAS

Por la acción que causan sobre el oleaje, existen dos tipos:

3.2.1 Los que impiden el paso del oleaje

Se pueden hacer la siguiente clasificación tipológica de las obras de abrigo:

- Los que rompen el oleaje: ROMPEOLAS EN TALUD
- Los que reflejan el oleaje: ROMPEOLAS VERTICALES
- Combinación de los dos anteriores: MIXTOS

3.2.2 Los que amortiguan el oleaje

Se consigue reducir las características del oleaje que incide, especialmente en cuanto a altura, se clasifican principalmente en:

- Sumergidos, se puede apreciar el funcionamiento de los rompeolas sumergidos en la Figura N° 3.1
- Flotantes, se aprecia en la Figura N°3.2

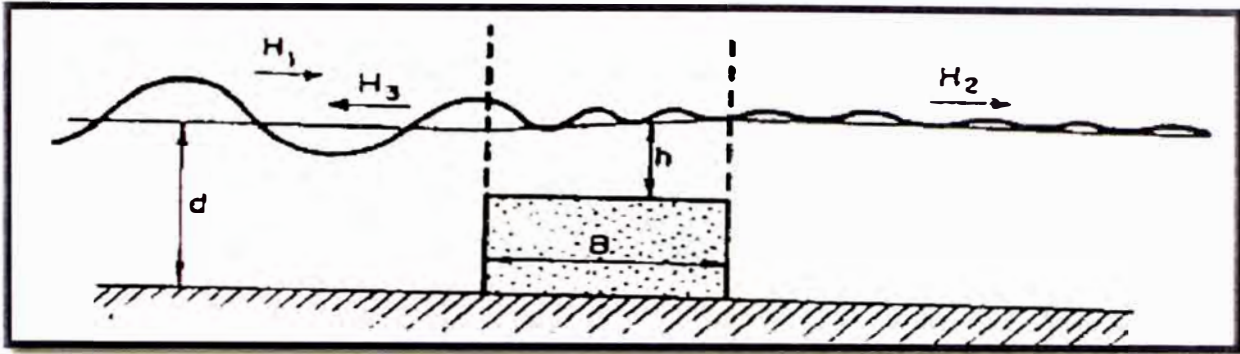


Figura N°3.1 Funcionamiento de un rompeolas sumergido

Fuente propia

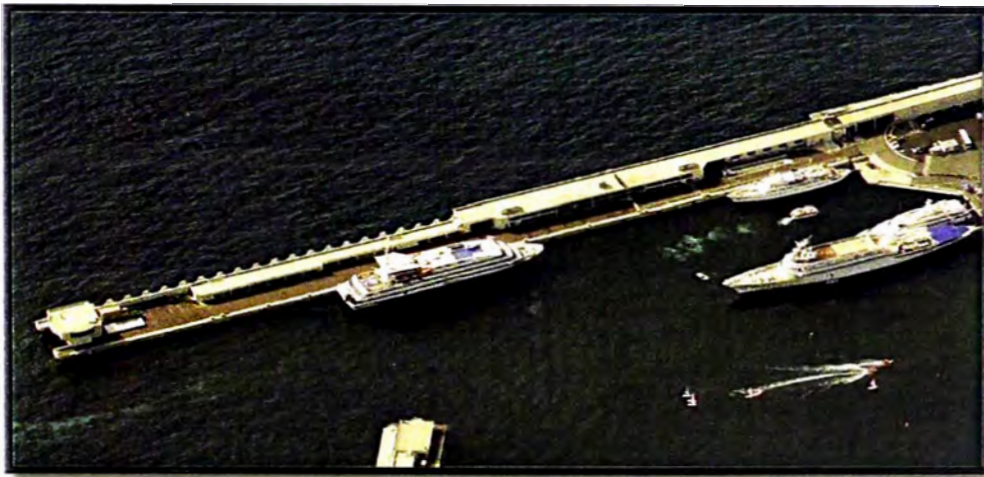


Figura N°3.2 Rompeolas Flotante

Fuente: Puerto de La Condamine - Monaco

3.3 TIPOLOGIA DE LAS OBRAS DE ABRIGO

Los rompeolas de gravedad se dividen en:

3.3.1 Rompeolas Vertical

Se denominan rompeolas verticales o diques verticales a aquellos que presentan un paramento vertical ante el oleaje incidente, en ellos el oleaje se refleja, se puede apreciar en la figura N° 3.3 y en la Figura N° 3.4.

Son obras construidas para generar una zona abrigada y consistente en un paramento vertical que se interpone a la acción del oleaje impidiendo su paso.

Ante estos esfuerzos el dique vertical opone, únicamente, su propio peso que, junto con el rozamiento contra la banqueta de escollera, debe ser suficiente para garantizar su estabilidad.

Su construcción no será siempre posible, porque la exigencia fundamental es que el oleaje no rompa y para ello se necesita unos calados suficientes. No será siempre aconsejable ya que la reflexión del oleaje puede producir molestias contra los barcos en las cercanías de las entradas de los puertos, o movimiento de arenas de los fondos marinos y por tanto afectar a playas cercanas.

Esta pared vertical está formada en general, por cajones, bloques o pantallas, apoyados sobre un enrocado (banqueta) de escollera de un cierto espesor, sin embargo en algunos casos estos están hincados en el fondo.

El oleaje produce esfuerzos sobre esta estructura los cuales son:

- Un esfuerzo oscilatorio, de resultante vertical ascendente (subpresión).
- Un esfuerzo oscilatorio, de resultante horizontal de una cierta intensidad y duración que están en función de las características del oleaje incidente.

Al presentarse estos esfuerzos, el dique vertical opone únicamente la fuerza de su propio peso, de tal forma que se reduzca la subpresión hidrostática, de tal forma se puede garantizar su estabilidad

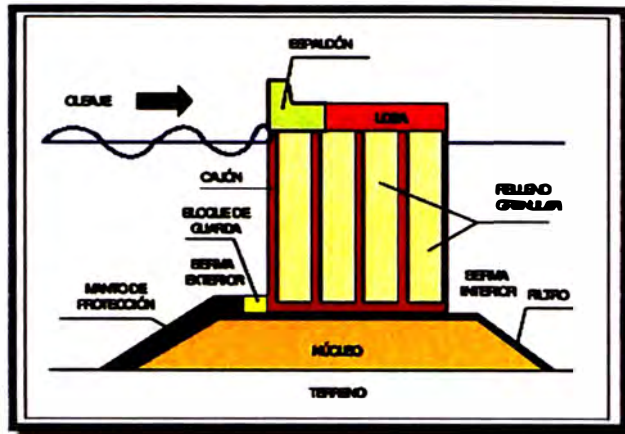


Figura N°3.3 Dique Vertical

Fuente: Universidad de Cantabria

Para los cálculos de la cama de enrocado o banqueteta se pueden utilizar las formulaciones pertinentes a rompeolas en talud o a rompeolas sumergidos.

3.3.1.1 Clasificación de Esfuerzos

Se dividen en: cargas hidráulicas, cargas de uso y peso propio. Las cargas hidráulicas se dividen en cargas hidrostáticas y cargas dinámicas. Las hidrostáticas se deben a que el cajón se encuentra sumergido y las dinámicas a las acciones del oleaje. Las cargas hidrodinámicas del oleaje generan esfuerzos, de acuerdo a la ola en específico.

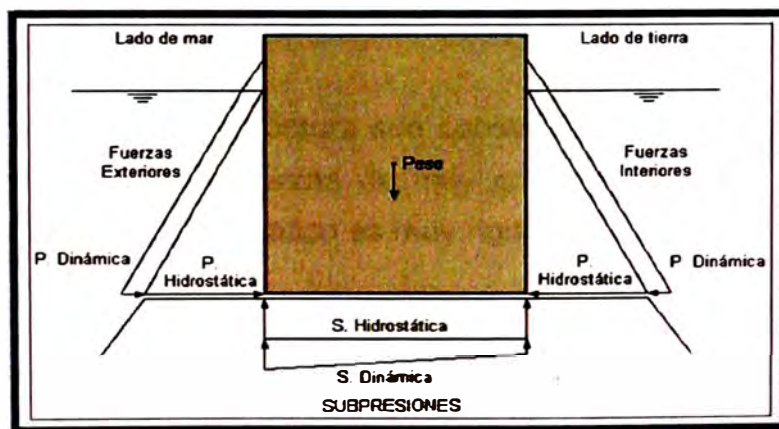


Figura N°3.4 Esquema del Dique Vertical

Fuente: Universidad de Cantabria

3.3.1.2 Modos Típicos de Falla

Los fallos estructurales más comunes en estructuras verticales monolíticas son:

- Deslizamiento
- Vuelco
- Asientos diferenciales
- Fallo generalizado del lecho marino
- Erosión de la cama de enrocado (o banquetta) de apoyo.

Cada determinado tipo de impacto de oleaje genera grandes fuerzas de corta duración sobre el espaldón que son transmitidas a la cimentación.

Estos ciclos de impacto pueden producir la compactación de la cama de enrocado de escollera, que puede suponer la generación de asientos diferenciales o pequeños deslizamientos del cajón. Este tipo de estudios debe ser abordado mediante métodos geotécnicos y de cálculo dinámico.

3.3.1.3 Calculo de estabilidad Estático

En los análisis de estabilidad se asume que la cimentación se encuentra inalterada, lo que genera movimientos únicos del cajón: deslizamiento y el volteo.

Las cargas aplicadas a la estructura son constantes en el tiempo y su principal característica son grandes fuerzas de muy corta duración es por ello que el planteamiento del equilibrio estático es muy riguroso.

3.3.1.4 Calculo de estabilidad Dinámico

Este tipo de cargas se produce, como se ha visto, cuando una onda rompe contra el dique, generando valores muy grandes de presión, de muy corta duración.

El planteamiento estático del equilibrio del sistema bajo máximas presiones debido a un impacto, da lugar a diseños que en muchas veces esta sobredimensionados.

Existen muchas formulaciones que se utilizan para calcular de una forma dinámica la estabilidad del dique, sin embargo cada una de ellas tienen sus alcances y limitaciones diferentes. Es por ello que uno debe los parámetros de diseño y ver cual se adecua más a la estructura a diseñar

3.3.1.5 Metodología de Diseño

La metodología consiste en:

- Diseñar inicialmente el manto de protección (que definirá los parámetros geométricos para dimensionar el cajón).
- Análisis de estabilidad del cajón mediante las fórmulas pertinentes, dependiendo de las características de rotura del oleaje entre otros factores.
- Se diseña la superestructura, consistente en el espaldón y la losa.

3.3.1.6 Cama de Enrocado o Banqueta

Esta cama de enrocado cumple una función amortiguadora entre la estructura principal y el fondo marino. Distribuye la carga vertical del cajón sobre el terreno, lo protege frente a la erosión del fondo al pie del cajón.

Es importante que si se desea un correcto funcionamiento, se garantice un buen aplanamiento de la coronación de la cama de enrocado. Para poder realizar el diseño se debe definir el ancho de la cama del enrocado.

3.3.2 Rompeolas en Talud

Los rompeolas en talud son obras hidráulicas, su misión es reducir la acción del oleaje en una zona para facilitar operaciones de atraque, amarre, carga y descarga.

Su forma de trabajo consiste en provocar la rotura del oleaje sobre el talud de escollera o de elementos especiales que constituyen su manto principal.

Además del manto resistente, el dique puede contar con una estructura soporte (cuerpo) de no menor importancia que constituye el núcleo y las capas de filtro.

Para definir aspectos a considerar hay que proceder a la ordenación de acciones, clima marítimo, recursos, modelos matemáticos y físicos, condiciones de cimentación, disponibilidad de materiales, tecnología disponible, etc.

3.3.2.1 Influencia del clima marítimo en el diseño

Este dique tiene un costo que crece exponencialmente con la intensidad de la ola de diseño. Para obtener el óptimo económico es de vital importancia establecer con precisión el clima marítimo (riesgos de presentación de estados de mar, solicitaciones máximas, etc.)

Aunque son obras de elevado costo de instalación, en general este costo es pequeño en comparación con el daño, considerando los costos de instalación, mantenimiento y riesgos sobre bienes y servicios que pueden ser afectados.

Este tema ha sido abordado en el capítulo 1.8.1.1. Para mayor información tener como referencia.

3.3.2.2 Sección de un rompeolas en talud

Un dique en talud o rompeolas consta generalmente de tres diferentes elementos (núcleo, capa o capas intermedias y manto principal o exterior), se puede apreciar este tipo de rompeolas en la Figura N° 3.5.

En el rompeolas hay tramos principales los cuales son:

- Arranque
- Tronco
- Codo
- cabeza

Cada uno de estos tramos implica distintas consideraciones en el diseño, y por consiguiente, cada uno de ellos conlleva el uso de diferentes formulaciones. Se pueden tener los siguientes modos de falla que se observan en la Figura N° 3.6.

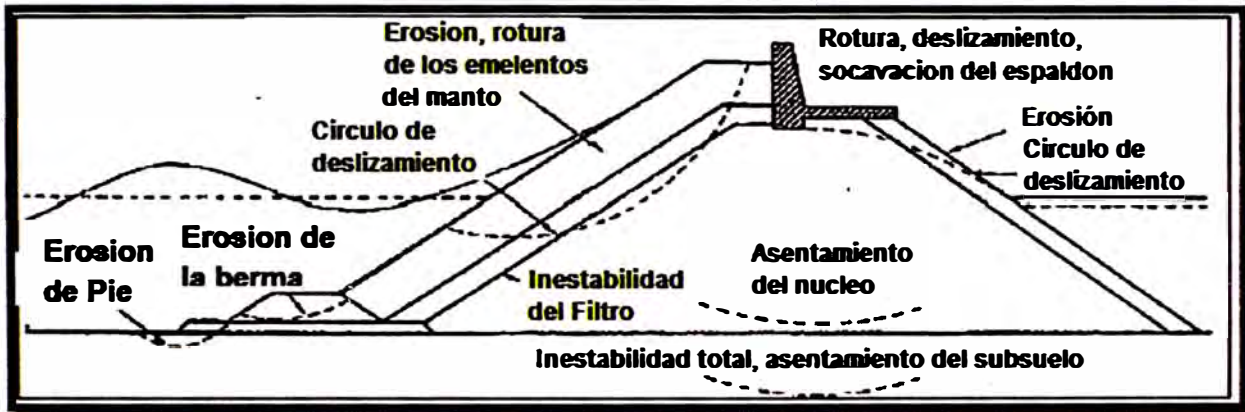


Figura N°3.6 Modos de Falla Rompeolas en Talud

Fuente: www.ulavirtual.cl

3.3.2.3 Criterios de cálculo en la estabilidad de los rompeolas en talud

Averías en el manto de protección:

Para evaluar el daño producido sobre un dique en talud hay unos parámetros que nos indican el % de piedras que se han desplazado de su posición original. Se considera que un bloque se ha desplazado cuando su centro de gravedad se ha desplazado una distancia igual a D_{n50} . En la Figura N° 3.7 se representan las piedras que se deslazan en función de la altura de ola de diseño.

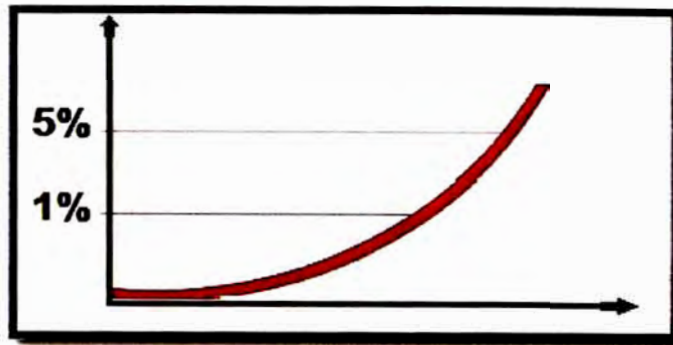


Figura N°3.7 Curva de Porcentajes de Piedras desplazadas

Fuente: www.ulavirtual.cl

La zona averiada se sitúa siempre cerca de la parte activa del oleaje, o sea de la zona cercana al nivel del mar. Ver la Figura N° 3.8

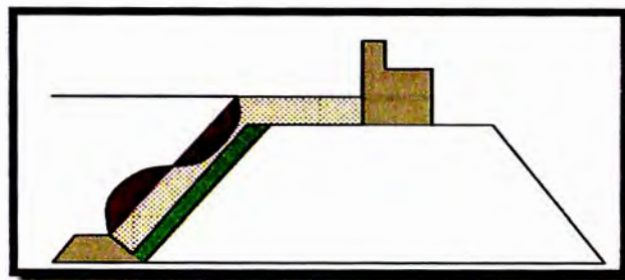


Figura N°3.8 Zona de Daño por el Oleaje

Elaboración Propia

El inicio de la avería se produce cuando se llega al 5% y llegado a este punto se pueden plantear dos casos: Se muestran en las Figuras N° 3.9 y Figura N° 3.10.

1. Dique de fallo rígido:

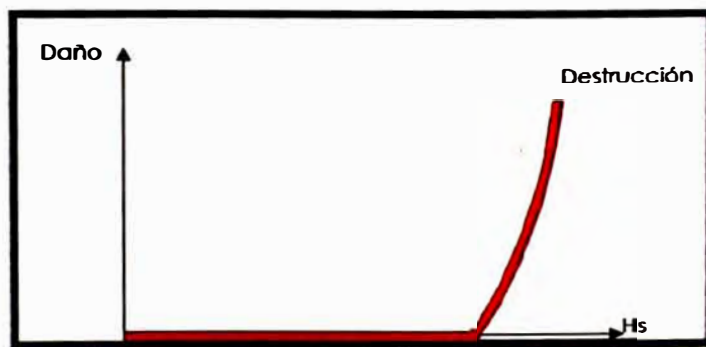


Figura N°3.9 Fallo Rígido

Elaboración Propia

2. Dique de fallo gradual:

En los diques de fallo gradual se dan una serie de etapas:

- i. Cuando se han movido el 5% de las piedras, se produce el INICIO DE AVERIA. Esta irá avanzando por la zona en que ha comenzado hasta que quedan al descubierto un conjunto importante de piedras de la 2ª capa.
- ii. En este punto llegamos a la avería de IRIBARREN, o sea se produce un hueco en la 1ª capa suficiente para que pueda salir una piedra de la 2ª.
- iii. Comienza el verdadero problema, ya que llegamos al inicio de la destrucción al salir una piedra de la 2ª capa y el filtro queda a la vista.
- iv. Las piedras del filtro, más pequeñas, se escapan por el hueco anterior y se produce la destrucción.

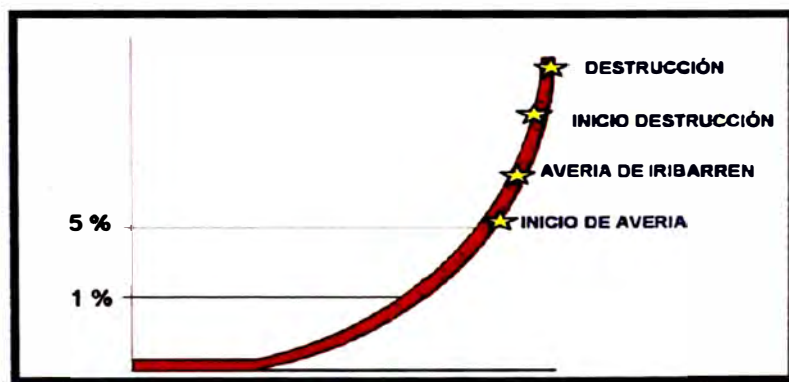


Figura N°3.10 Fallo Gradual

Elaboración Propia

3.3.2.4 Reflexión de las estructuras en talud

Las olas reflejadas por una estructura incrementan la energía del oleaje frente a la misma, lo que puede generar problemas funcionales. Además, la reflexión sobre la estructura incrementa el flujo sobre la misma, lo que puede obligar a incrementar la cota de coronación. Por ello, suele ser deseable que las estructuras marítimas tengan coeficientes de reflexión lo más reducidos posible.

Para un tren regular de ondas incidiendo sobre una estructura, hipótesis lineal, el grado de reflexión se cuantifica mediante el coeficiente de reflexión, el cual representa el cociente entre la altura de ola reflejada y la altura de ola incidente.

$$K_R = \frac{H_{OR}}{H_{Oi}}$$

Cuando las olas son muy peraltadas, o la estructura provoca fuertes disipaciones de energía o la rotura del oleaje, los procesos no son lineales y la composición frecuencial del oleaje reflejado sea sustancialmente diferente del incidente. En el caso del oleaje irregular la reflexión en cada componente tendrá características diferentes. En todos estos casos como simplificación puede utilizarse un coeficiente de reflexión global que se puede definir como el cociente entre las alturas del momento de orden cero del espectro reflejado e incidente:

$$K_R = \frac{H_{mOR}}{H_{mOi}}$$

A pesar del incremento de la capacidad de los modelos numéricos el coeficiente de reflexión de las estructuras costeras sigue calculándose mediante formulaciones empíricas desarrolladas a partir de experimentación en laboratorio. En la Tabla N° 3.1, tomada de Goda (1985), se presentan algunos valores característicos del coeficiente de reflexión de estructuras costeras:

Tabla N°3.1 Tabla Coeficientes de Reflexión según el tipo de estructura

Tipo de estructura	Coeficiente de reflexión
Dique vertical no rebasable	0,7 – 1
Dique vertical rebasable	0,5 – 0,7
Dique en talud de escollera (pendiente 1:2 a 1:3)	0,3 – 0,6
Dique en talud de bloques de hormigón	0,3 – 0,5
Dique vertical disipador de energía	0,3 – 0,8
Playa natural	0,05 – 0,2

Elaboración Propia

En un talud permeable rugoso, Seelig (1983), con oleaje regular, propuso la siguiente expresión para el coeficiente de reflexión:

$$K_R = \frac{0.6 I_{ro}^2}{I_{ro}^2 + 6.6}$$

3.3.2.5 Manto Principal o Coraza

El manto principal es la parte resistente ya que se encuentra en contacto directo con la acción del oleaje.

Se plantea un talud con inclinación α y en él un bloque. Sobre este bloque actúan tres fuerzas:

- El peso sumergido, W_s , estabilizadora
- La fuerza del oleaje, F_p , desestabilizadora
- La fuerza de rozamiento entre bloques, F_r , estabilizadora.

Para el cálculo del equilibrio existen dos instantes críticos, que se muestran en la Figura N° 3.11 y en la Figura N° 3.12:

- I. La ola de altura H , choca contra el talud y rompe, cae sobre los elementos del talud con cierta velocidad y genera una fuerza ascendente que intenta sacar los bloques del talud. Se denomina rotura franca y la fuerza desestabilizadora F_p , es perpendicular al talud, tendiendo a desplazar hacia arriba los elementos del manto.

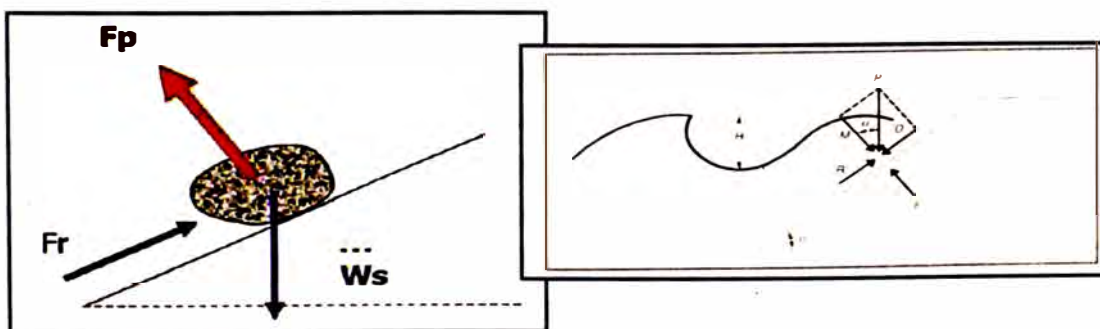


Figura N°3.11 Rotura Franca

Elaboración Propia

- II. La ola impacta y rompe sobre el talud y al descender con velocidad ejerce una fuerza descendente y paralela al talud, que intenta mover los elementos del mismo. Se denomina rotura falsa y en este caso F_p es paralela al talud, tendiendo en desplazar los elementos hacia abajo.

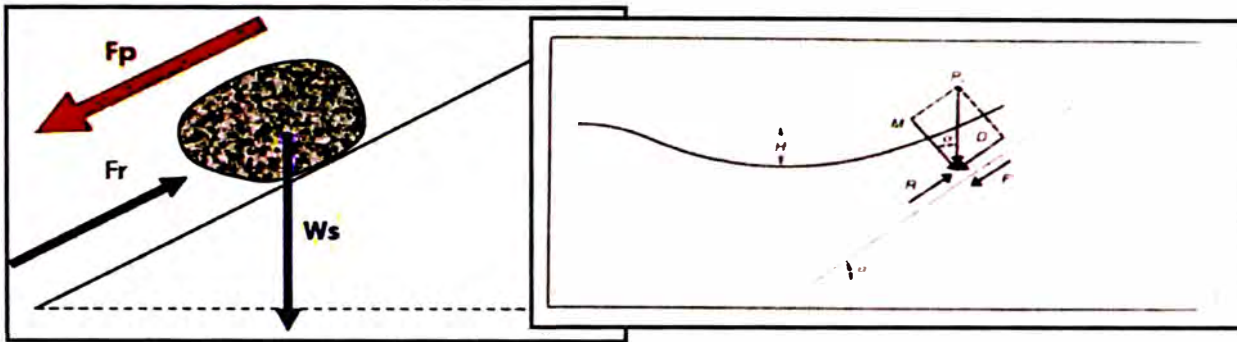


Figura N°3.12 Rotura Falsa
 Elaboración Propia

Para resolver estas dos situaciones y conocer la magnitud de la fuerza desestabilizadora en ambos casos, partimos de la hipótesis que la energía que posee la altura de ola es proporcional al cuadrado de la velocidad con que las partículas caen sobre el talud. Esto es debido al principio de la Conservación de la energía, en el que la energía del oleaje, H , al romper, se transforma primeramente en velocidad y posteriormente en la fuerza desestabilizadora.

Por lo tanto y de acuerdo con el teorema de Bernouilli, este cuadrado de la velocidad es así mismo proporcional a la presión que intenta levantar el bloque, o sea:

$$H = K_1 V^2 = K_2 \frac{P}{\gamma_w} = K_2' \left(\frac{F_p}{D^2 \gamma_w} \right)$$

$$F_p = K_3 \gamma_w D^2 H$$

Es decir es proporcional a la densidad del agua, al cuadrado del diámetro y a la altura de ola. La constante de proporcionalidad será diferente en los casos de rotura franca o falsa.

Si aplicamos las ecuaciones de la estática al bloque del caso (I), tendremos:

- i. La fuerza del peso en la dirección del talud es $F_r = W_s \sin \alpha$, siendo $W_s = K_1 D^3 (\gamma_a - \gamma_w)$, es decir proporcional al cubo del tamaño del grano y a la densidad sumergida.
- ii. La fuerza que se opone al rozamiento es $F_r = \tan \phi (N \text{ plano}) = \tan \phi W_s \cos \alpha$. Siendo $\tan \phi = \text{coeficiente de rozamiento}$. Luego es proporcional al peso del bloque sumergido, coseno del ángulo del talud.

A partir de estas consideraciones los diversos autores han elaborado sus formulaciones. Las que se presentan a continuación han sido elaboradas experimentalmente, buscando y encontrando los parámetros que mejor se ajustan a las condiciones reales de la estabilidad del manto principal frente a la acción del oleaje.

Todas las formulaciones de estabilidad existentes asumen que la relación entre el peso de las piezas, la altura de ola y la densidad relativa puede ser expresada a través de un solo parámetro adimensional, que relaciona las fuerzas hidrodinámicas que solicitan la pieza sobre el talud con el peso sumergido de las mismas.

Como ya se ha comentado las fuerzas hidrodinámicas sobre el talud son proporcionales a la densidad del fluido, al área de la sección transversal de las piezas perpendicular al flujo y a la altura de ola:

$$F_P \approx \rho_w g D_{n50}^2 H_i$$

Por otra parte el peso sumergido, es:

$$W_s \approx (\rho_s - \rho_w) g D_{n50}^3$$

Estableciendo la relación entre las dos fuerzas se llega al siguiente número adimensional **Ns**, que recibe el nombre de número de Hudson, o número de estabilidad:

$$\frac{F_p}{W_s} \approx \frac{H_i}{(S_r - 1)D_{n50}} = \frac{H_i}{\Delta D_{n50}}$$

Donde S_r es la densidad relativa de las piezas: $S_r = \frac{\rho_s}{\rho_w}$

Y la densidad relativa sumergida es: $\Delta = S_r - 1$

Teniendo en cuenta la relación entre el diámetro del cubo equivalente y el peso de las piezas, el número de estabilidad puede expresarse también en función del peso de las piezas:

$$N_s = \frac{H_{ic}}{\Delta \left(\frac{W_{50}}{\rho_s g} \right)^{1/3}}$$

O, lo que es lo mismo.

$$N_s^3 = \frac{\rho_s g H_{ic}^3}{(S_r - 1)^3 W_{50}}$$

Se define **función de estabilidad** como el inverso de la expresión anterior:

$$\psi = \frac{1}{N_s^3} = \frac{(S_r - 1)^3 W_{50}}{S_r \rho_w g R H_{ic}^3}$$

Si se determinan los valores del número de estabilidad o de la función de estabilidad para unas condiciones de oleaje, dique y nivel de avería dados, el peso o el tamaño de las piezas necesario se podrán obtener despejando de las correspondientes expresiones.

Para la determinación de dichos valores, se exponen a continuación tres métodos muy utilizados hoy día.

- Formulación de Losada y Giménes Curto
- Formulación de Hudson
- Formulación de Van Der Meer

Para calcular en el manto principal el peso mínimo necesario de los elementos del manto principal, existen toda una variedad de fórmulas que se pueden emplear en el pre diseño. Una de las fórmulas que ha sido muy usada es por la del ingeniero Iribarren:

$$P = \frac{K}{(f \cos \alpha - \sin \alpha)^3} \frac{\gamma_c}{\left(\frac{\gamma_c}{\gamma_w} - 1\right)^3} H^3$$

γ_c = Densidad de la escollera T/m³

γ_w = Densidad del agua de mar T/m³

H = Altura de la ola de diseño en m

K = Es constante de valor 0.438 T/m³ para equilibrio hacia abajo, con incidencia oblicua del oleaje e iniciación de rotura.

α = Angulo critico correspondiente al talud 2:1

f = Coeficiente de encaje, que para escolleras de esfericidad media vale 2.38

Una de las formulaciones hoy día más utilizadas es la de Hudson:

$$W = \frac{W_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

W = Peso medio de las piezas del manto principal

H = Altura de la ola de diseño

$S_r = \frac{W_r}{W_w}$ = Peso específico relativo al agua del mar de los elementos del manto

W_w = Peso específico del agua del mar 1 026 t/m³

θ = Angulo del talud respecto de la horizontal

K_D = Coeficiente de estabilidad que varía con la forma de las piezas, rugosidad de la superficie y con el grado de interconexión entre las distintas piezas del manto.

Los componentes de los modos de fallo que se presentan en un rompeolas en talud se muestran en la Figura N° 3.13

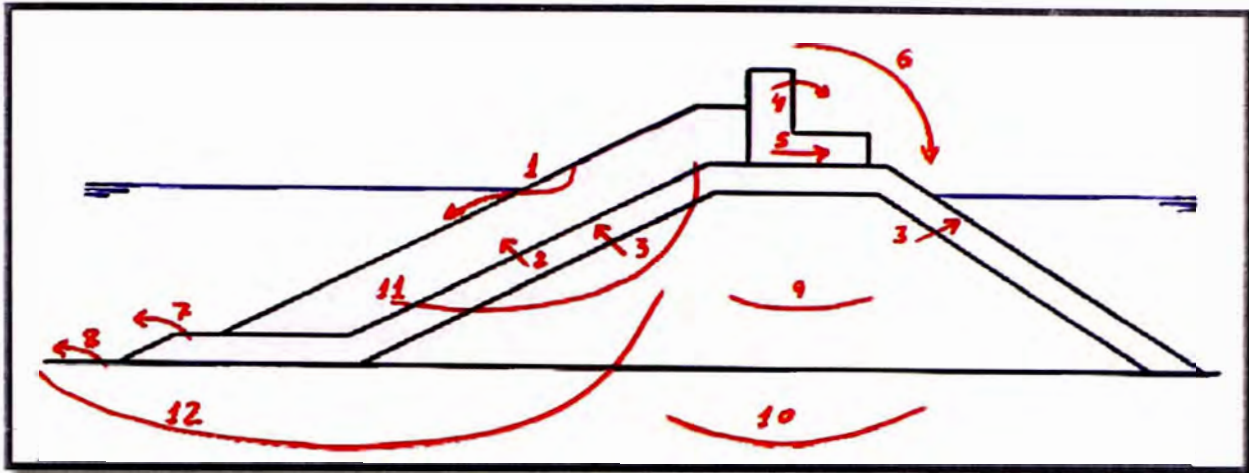


Figura N°3.13 Componentes de los modos de Fallo

Fuente: U. S. Army Corps of Engineers

1. Pérdida de elementos del manto principal
2. Lavado de elementos del manto secundario
3. Lavado de elementos del núcleo
4. Vuelco del espaldón
5. Deslizamiento del espaldón
6. Rebase y erosión del trasdós
7. Erosión de la berma
8. Erosión del pie
9. Asentamiento del núcleo
10. Asentamiento de la cimentación
11. Deslizamiento del manto
12. Deslizamiento del dique

Los factores de diseño para el manto principal son:

- Tipo de Elemento
 - Peso y Diámetro
 - Densidad
- Forma de Colocación
 - Número de capas
 - Ordenada o concertada
 - Densidad de colocación

- Rugosidad

Los elementos utilizados en el manto principal son rocas o elementos prefabricados de hormigón, en la Figura N° 3.14 se observan elementos de concreto armado para el manto principal.

Las características y datos específicos de cada uno de ellos se encuentran en el catálogo de cada proveedor, en la Figura N° 3.15 se muestra una propuesta de un elemento de concreto para el manto principal.

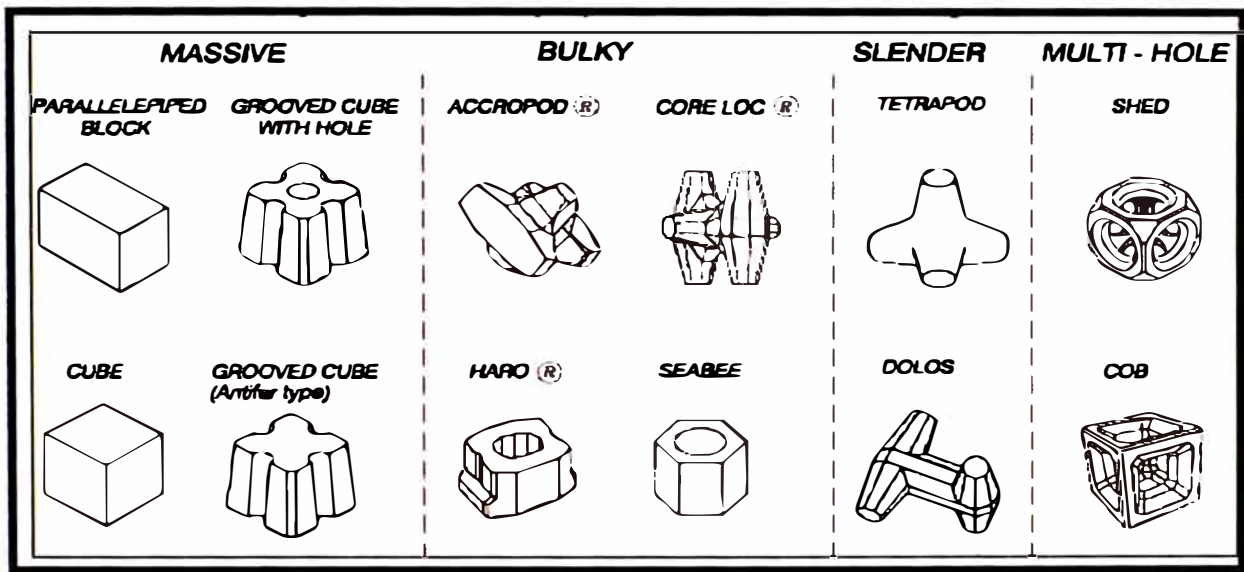


Figura N°3.14 Elementos de Concreto para el Manto Principal

Fuente: Coastal Engineering Manual

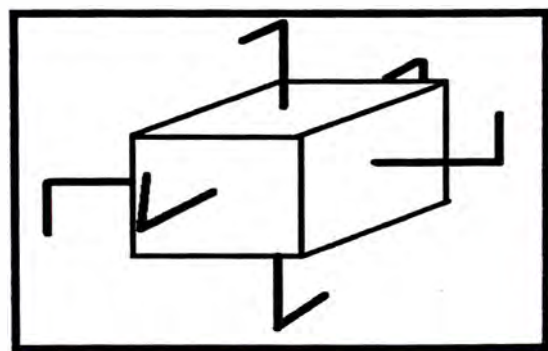


Figura N°3.15 Propuesta de elemento de concreto para manto principal

Elaboración Propia

La mayoría de las fórmulas que existen para el cálculo de los elementos del manto principal son empíricas y que están basadas en una serie de ensayos.

Estas fórmulas se enfocan en predecir el peso o diámetro (W o D_n) de los elementos y todas se encuentran relacionadas con un parámetro en común de estabilidad.

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_n}$$

Para llegar al equilibrio de las fuerzas que actúan en la coraza, se presentan muchas formulaciones de varios autores donde que se utilizan para el cálculo de la estabilidad.

La distribución de los elementos del manto principal es importante dentro del diseño ya que influye directamente en la permeabilidad y en la densidad. La relación entre estos parámetros es inversamente proporcional.

3.3.2.6 Núcleo

El núcleo es la parte principal del dique y normalmente es construido con un material barato de la cantera en comparación con el resto de las capas.

3.3.2.6.1 Funciones principales

- De apoyo a los mantos secundarios y en casos pertinentes, al espaldón.
- Constituir una barrera impermeable frente a la transmisión del oleaje.
- Amortiguación de la energía de las oscilaciones del mar.
- Transmisión de esfuerzos al terreno.
- Plataforma de trabajo para construcción de capas de filtro.
- Manto, el paso de camiones para el avance de la obra (construcción con medios terrestres).

Dimensionamiento del Núcleo

Para el dimensionamiento del núcleo se plantea las siguientes recomendaciones:

- Ancho y altura de coronación, según los medios constructivos:
 - Circulación de vehículos de obra
 - Dimensiones de la base de la grúa
 - Requisitos funcionales: anchura de espaldón

- Taludes de proyecto: Talud manto principal

- Granulometría: se dimensiona a partir del manto principal
 - Tener cuidado con el filtro al terreno natural y con las diferentes capas

3.3.2.7 Manto Secundario

Sobre el núcleo se construirán los mantos secundarios hasta alcanzar el manto principal. El número de mantos, su espesor y el peso unitario de sus piezas dependen de las dimensiones de las piezas del manto principal y de los materiales del núcleo. Los mantos secundarios de piedras naturales tendrán como mínimo dos capas de piezas.

Funciones del manto principal

La misión de los mantos secundarios de un dique en talud es doble:

1. Facilitar una condición de filtro desde los tamaños correspondientes al manto principal a los del núcleo
2. Generar suficiente rozamiento entre capas de manera que no se faciliten planos de deslizamiento.

Para el cumplimiento de la condición de filtro, Bruun (1985) recomienda la utilización de la condición de filtro de Terzaghi

$$\frac{D_{85}}{d_{15}} < 5$$

Asumiendo una relación $\frac{D_{85}}{d_{15}} = \frac{D_{50}}{d_{15}} = 1.41$, la relación puede expresarse en términos de los diámetros de los cuantiles 50 de las capas superior e inferior

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} < 2.5$$

Asumiendo que el peso del cuantil 50 de las piezas puede determinarse elevando al cubo la expresión, la relación entre los pesos del cuantil 50 de las piezas del manto superior e inferior deberá ser menor que 15, se muestra en la Tabla N° 3.3.

Por lo que respecta al rozamiento entre capas, los valores del ángulo de rozamiento entre capas de escollera de distinto peso disminuyen rápidamente a medida que aumenta la relación entre los pesos de las piezas de las capas contiguas. Los valores del ángulo de rozamiento ϕ , para distintas relaciones de peso entre piezas de capas consecutivas dadas por Bruun and Johannesson (1974) se muestran en la Tabla N° 3.2.

Tabla N°3.2 Relación de pesos entre capas en función a sus ángulos rozamiento

Relación entre pesos W/w	ϕ	$\tan \phi$
1	70°	2.75
2	65°	2.10
10	55°	1.40
20	50°	1.20

Fuente: U. S. Army Corps of Engineers

A la vista de estos resultados y teniendo en cuenta que las pendientes habituales de los taludes oscilan entre 0.7 y 0.3, queda claro que, para los taludes más pendientes, la condición de rozamiento entre capas puede ser más restrictiva que la de filtro.

Como resultado de las anteriores consideraciones, las reglas de buena práctica recomiendan la siguiente relación de pesos de las piezas de capas sucesivas:

Tabla N°3.3 Relación de pesos en función a sus capas sucesivas

Manto principal/ 1^{er} manto secundario: $W_{30}/w_{30} < 10$
Entre mantos secundarios: $10 < W_{30}/w_{30} < 20$
Entre manto secundario y núcleo: $10 < W_{30}/w_{30} < 20$

Fuente: U. S. Army Corps of Engineers

La experiencia española en la explotación de canteras para la construcción de diques se concreta en los siguientes intervalos de tamaños y pesos

Cada intervalo representa los pesos que se suelen obtener en una explotación normal de una cantera y que se pueden seleccionar sin tomar medidas especiales. En consecuencia, es recomendable definir el peso mediana de las piezas de los mantos secundarios teniendo en cuenta estos intervalos "naturales".

3.3.2.8 Filtro

El filtro es la base de apoyo adecuada para el manto principal (y en su caso el espaldón). Su función es evitar el lavado del material del núcleo a través de los huecos que se puede en el proceso constructivo o a lo largo de la vida útil de la obra.

El dimensionamiento empieza a partir del manto principal, en la mayoría de casos se coloca varios filtros entre el manto principal y el núcleo, estos filtros se van reduciendo de tamaño a partir del manto hacia el núcleo.

3.4 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA

Para seleccionar la tipología del dique de abrigo más adecuada se recomienda tener en cuenta los siguientes factores referente a:

- i. Los agentes del medio físico, del terreno, de uso y explotación, de los materiales y de los métodos y procedimientos constructivos.
- ii. Los requerimientos medioambientales y de uso y explotación así como también los materiales de mantenimiento y reparación.
- iii. La morfodinámica litoral, la calidad de las aguas y el entorno ambiental.

En general, deberá optarse por la tipología más económica de entre las posibles que satisfagan los dos primeros criterios, siempre que se cumplan las exigencias ambientales establecidas en el tercero.

Para dicha valoración económica deberán considerarse tanto la inversión inicial y los costos de los trabajos de mantenimiento y de reparación, como los efectos de los mismos en la operativa portuaria.

Debido a las severas condiciones ambientales y climáticas en las que se encuentran los diques de abrigo, en general, suele ser mucho más económico adoptar tipologías estructurales robustas, simples y durables, que exijan el mínimo mantenimiento durante su vida útil y tengan fáciles procesos constructivos y de reparación.

3.4.1 Comportamiento de los agentes climáticos marítimos

El comportamiento del dique frente a los agentes climáticos marítimos depende de su geometría y de la disposición de sus partes y elementos relativos a las características del oleaje.

En particular el oleaje a pié de dique y en presencia de él, (es decir, teniendo en cuenta su mutua interacción si rompe, o no) y la profundidad de agua h .

3.4.1.1 Criterios de selección en función a la profundidad.

En la Tabla N° 3.4 se recomienda la tipología más adecuada según el comportamiento del dique frente al oleaje y la profundidad

Tabla N°3.4 Tipología conveniente en función a su altura

Tipología dique	Oleaje en presencia del dique	Profundidad (m)
En talud	Todos	$0 \leq h_r < 35 - 45$

Fuente: ROM 0.9

3.4.2 Comportamiento del terreno

Un factor fundamental para la elección de la tipología es la adecuación del suelo marino para soportar los esfuerzos transmitidos por el dique y las oscilaciones del mar, es decir su:

- (1) Compresibilidad, o capacidad de deformarse variando su volumen al aplicar cargas de compresión en su superficie
- (2) Resistencia al esfuerzo cortante o capacidad del suelo de resistirse al deslizamiento relativo entre partículas adyacentes cuando es sometido a un esfuerzo de corte
- (3) Capacidad de las partículas de fondo para permanecer en él en presencia de la dinámica marina.

Roca y suelos granulares. Los fondos de roca, independientemente de su grado de deterioro, en general son aptos para recibir cualquier tipología de dique de abrigo. Los suelos y rellenos de materiales sueltos no cohesivos, arenas gruesas y gravas, son también aptos para recibir cualquier tipo de dique por poseer una alta permeabilidad, lo que les permite drenar el fluido intersticial con relativa facilidad cuando son sometidos a cargas cíclicas.

Suelos cohesivos blandos. Tienen una resistencia al corte, baja permeabilidad y, en general, una elevada compresibilidad, está muy influenciada por las condiciones de drenaje. En estos casos será necesario estudiar la acumulación y el exceso de presión en el interior del suelo, ya que puede provocar una disminución en el módulo de rigidez del mismo si se trata de una arcilla NC, o su

aumento si se trata de una arcilla SC. Este tipo de suelos no es el más adecuado para recibir cargas concentradas y controlar los asentos.

3.4.2.1 Criterios de selección en función de las propiedades del terreno

En la siguiente Tabla N° 3.5 se recomienda la tipología más adecuada en función de las características del terreno.

Tabla N°3.5 Tipología más adecuada en función a las propiedades del terreno

Tipo de suelo	Tipología
Roca	Todas
Granulares flojos	Algunas
Granulares duros	Todas
Cohesivos blandos o rellenos de baja calidad	Evitar diques verticales
rellenos homogéneos y permeables	Todas

Fuente: ROM 0.9

3.4.2.2 Criterios de selección frente a los requerimientos climáticos en el uso y la explotación

En la siguiente Tabla 3.6 se recomienda la tipología más adecuada en función a la partición de la energía incidente.

Tabla N°3.6 Tipología más adecuada en función partición de energía

Tipología	Partición de la energía
En talud	Disipación y reflexión
Vertical	Reflexión
Mixto	Disipación y reflexión

Fuente: ROM 0.9

3.5 ESPIGONES

Los espigones son las estructuras más comunes para manejo de playas, se puede ver en la Figura N° 3.16. Estos se construyen generalmente normales a la

orilla para impedir el tránsito normal de la arena a lo largo de la playa. El objetivo principal de los espigones es estabilizar la playa contra la erosión producida por el movimiento de arena paralelamente a la orilla. Las corrientes paralelas a la orilla inducidas por las olas acumulan arena a un lado del espigón.

La presencia del espigón modifica la dirección de las corrientes y no permite el paso de arena hacia el otro lado de la estructura, con la consiguiente reducción de disponibilidad de arena en la playa al otro lado del espigón, causando en ocasiones problemas delicados de erosión.



Figura N°3.16 Espigones en Piedra

Elaboración Propia

Colocando arena adicional, los espigones sirven para estabilizar la playa sosteniendo en el sitio la arena colocada. El espigón de mar actúa como una entrada de tierra artificial produciendo la formación de una serie de playas artificiales entre espigones. Las playas así formadas producen un avance hacia el mar y puede ser necesario seguir prolongando los espigones para lograr un efecto de avance acumulativo de la playa. El avance depende del espaciamiento entre espigones, el volumen de deriva litoral, las características del oleaje.

Generalmente los espigones son estructuras rectas pero algunas veces se construyen curvos, o en forma de T. Un espigón en forma de T actúa además como rompeolas. Los espigones son estructuras relativamente delgadas normales a la orilla.

El diseño de los espigones incluye su localización en planta y la definición de su longitud, espaciamiento, altura, perfil, espaciamiento, tipo y materiales de construcción, permeabilidad entre otros parámetros.

3.5.1 Tipos de espigón

3.5.1.1 Espigones Permeables

Son aquellos que permiten que el agua pase a través de ellos con pequeña velocidad, son útiles cuando se desea favorecer la sedimentación y formación de playas entre los espigones. La “permeabilidad” es una medida de la proporción de vacíos que tiene el cuerpo del espigón en la dirección de la corriente y se puede expresar como un porcentaje.

Estos espigones pueden ser de alta o de baja permeabilidad. Su función es la de retardar el flujo y disminuir la velocidad cerca de las márgenes. Se les llama “retardadores”.

Generalmente están más espaciados que los impermeables. Los espigones permeables se caracterizan por lo siguiente:

- El agua, cargada de sedimentos finos, debe pasar a través de ellos.
- El espacio comprendido entre un espigón y otro debe irse rellenando con el depósito de los sedimentos finos en suspensión. Posteriormente, debe favorecerse el desarrollo de la vegetación.
- Protegen y robustecen la orilla fluvial; en realidad contribuyen a la formación de una “orilla virtual” como consecuencia de lo señalado en los dos puntos anteriores.
- Se pueden ir modificando y adaptando a las circunstancias que se presenten.
- Los requerimientos de construcción son simples. Se usa los materiales existentes en el área y debe buscarse siempre aprovechar la experiencia local

3.5.1.2 Espigones Impermeables

Los espigones impermeables se pueden considerar deflectores. Se usan preferentemente cuando se trata de un río navegable en el que se trata de mantener una sección hidráulica central con un determinado calado. Se caracterizan por lo siguiente:

- Su función esencial es alejar la corriente de la orilla.
- Son fundamentalmente deflectores
- Se busca un estrechamiento del cauce y un aumento del calado (profundización), lo que implica un aumento de la velocidad de la corriente.
- Los procedimientos constructivos son más complejos.
- Se trata por lo general de “estructuras definitivas”.
- Favorecen la navegación, pues con ellos se aumenta el calado. En general, con un sistema de espigones impermeables se busca aumentar la velocidad media de la corriente.

3.5.2 Elección del Tipo de Espigón

Dentro de los factores que determinan la elección del tipo de espigón están los siguientes:

- El objetivo que tienen
- La función que deben desempeñar
- Las características generales del mar
- La disponibilidad de materiales de construcción
- Los costos involucrados
- Las restricciones que pudiera haber en el mantenimiento
- La experiencia local
- El tiempo disponible

A continuación se muestran en la Figura N° 3.17 Espigones unidos a la costa, en la Figura N° 3.18 espigones separados y paralelos a la línea de la costa y en la Figura N° 3.19 Espigones separados e inclinados a la línea de la costa

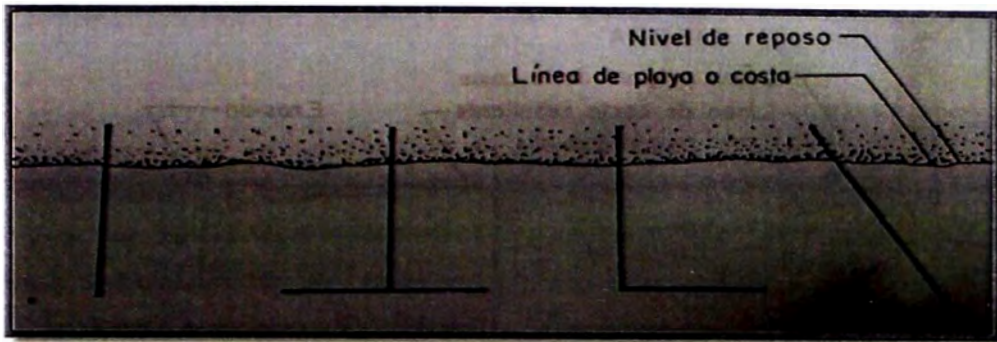


Figura N°3.17 Espigones unidos a la costa
Manual de diseño de Obras

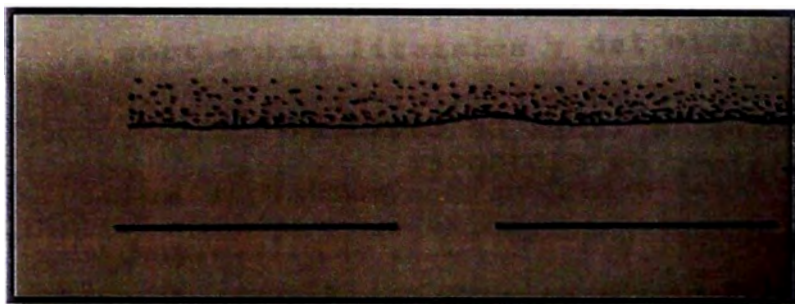


Figura N°3.18 Espigones separados y paralelos a la línea de la costa
Manual de diseño de Obras

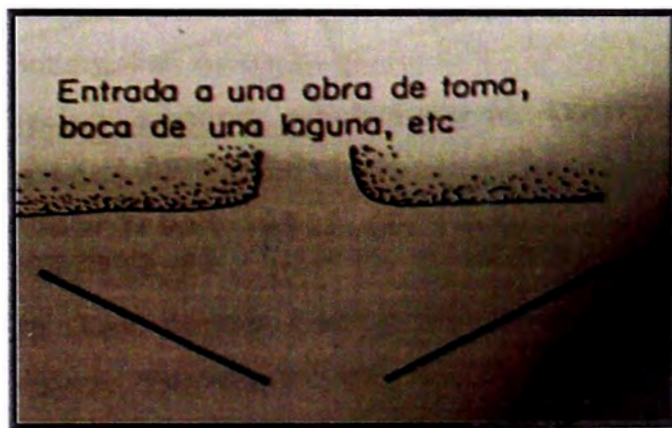


Figura N°3.19 Espigones separados e inclinados a la línea de la costa
Manual de diseño de Obras

3.5.3 Dimensiones de un Espigón

Sus dimensiones dependen de las fuerzas del oleaje que van a resistir, por otra parte la longitud, perfil y espaciamiento entre espigones se obtienen del análisis del funcionamiento del conjunto tomando en cuenta, direcciones y volúmenes del transporte litoral a lo largo del año. No hay un criterio definitivo y probado para diseñar eficientemente una protección con espigones que trabaje satisfactoriamente bajo cualquier circunstancia; sin embargo, existen algunas recomendaciones obtenidas de la experiencia lograda en el diseño, operación e incluso fracaso, de varias protecciones; esas recomendaciones se resumen a continuación.

3.5.3.1 Perfil – Altura y longitud del espigón

Para propósitos de diseño funcional, se deben considerar tres secciones o partes

- a) Tramo horizontal en la costa (berma)
- b) Tramo intermedio con pendiente
- c) Tramo exterior en el mar

El primer tramo horizontal se extiende desde el lugar de la playa cuya elevación corresponde al nivel de pleamar máxima superior (NPMS), hasta donde se requiera anclar el espigón para evitar que la acción del mar lo separe de la costa. La altura mínima de la corona del espigón en ese tramo es la elevación de la berma.

En el tramo intermedio del espigón debe ser aproximadamente paralelo a la pendiente de la playa que se desea formar o proteger, y termina al llegar a la elevación del tercer y último tramo del mar.

El tramo dentro del mar lo constituye la última parte del espigón. La altura de la corona de este tramo se escoge lo más bajo posible, permitiendo solo la entrada del equipo de construcción durante el ciclo de la marea baja.

3.5.3.2 Espaciamiento entre espigones

El espaciamiento entre espigón es función de su longitud dentro del mar y de la incidencia del oleaje. La longitud dentro del mar (longitud de trabajo) se mide desde la línea de costa para el nivel de pleamar media superior (NPMS) hasta el extremo o morro del espigón. Se muestran en las figuras N° 3.20 y N° 3.21

3.5.3.3 Tamaño de los elementos que forman el espigón

La mayoría de los espigones son de baja altura y no rebasan la profundidad de 3m, y por tanto no es fácil la construcción de la sección transversal del espigón formando el núcleo, capa secundaria y coraza.

Siempre cuando la altura de la ola de diseño sea menor que 1.5m, el CERC recomienda que el espigón se construya utilizando el mismo material en toda su sección, variando el peso de los elementos.

3.5.3.4 Erosión

Es una protección con espigones se presentan varias erosiones que conviene observar para evitarlas o dar mantenimientos oportunos a los espigones, las principales son:

- Erosión local en el lado corriente abajo del espigón cerca del empotramiento
- Erosión local al pie del talud del morro debida a la acción del oleaje y corrientes
- Erosión local al pie del talud del espigón por cambio considerable del perfil de la playa.
- Erosión de la playa situada corriente debajo de la zona protegida por los espigones ya que recién construidos pueden detener casi todo el transporte litoral.

3.5.4 Elementos a diseñar

Los puntos más importantes a tomar en cuenta al diseñar una protección basado en espigones son:

- a. Localización en planta. Radios de las curvas, longitud de las tangentes, ancho estable del río.
- b. Longitud de los espigones.
- c. Elevación de la cresta de los espigones
- d. Espaciamiento entre espigones.
- e. Número de espigones
- f. Pendiente de la corona.
- g. Angulo de orientación respecto a la orilla.
- h. Taludes laterales de los espigones.
- i. Permeabilidad del espigón.
- j. Características y tamaño de los Materiales para la construcción de los espigones.
- k. Determinación de las condiciones de flujo alrededor de los espigones.
- l. Predicción de la socavación en la curva y socavación local en el extremo del espigón.

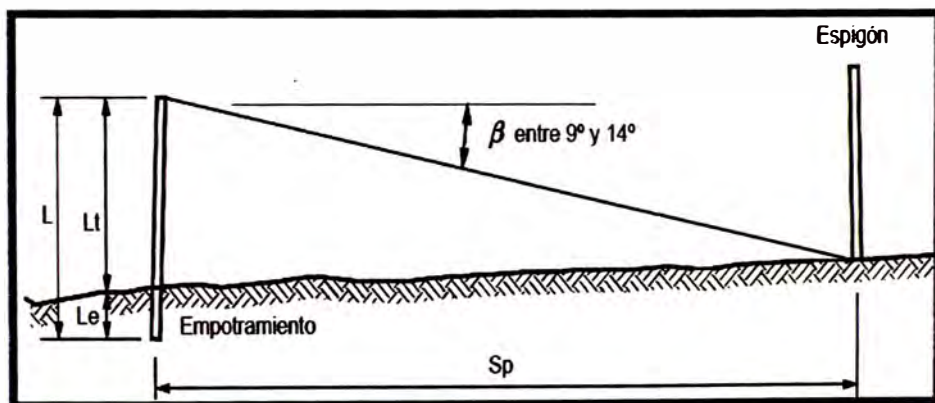


Figura N°3.20 Separación del Espigón Perpendicular

Fuente: U. S. Army Corps of Engineers

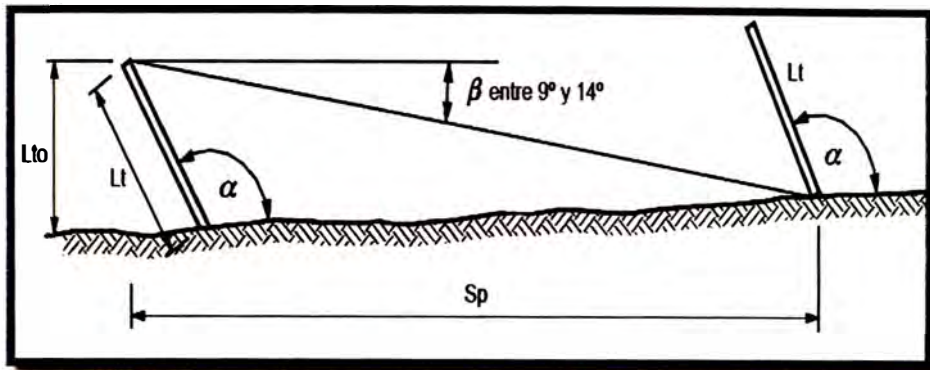


Figura N°3.21 Separación del Espigón Oblicuo

Fuente: U. S. Army Corps of Engineers

3.5.5 Criterios generales para el diseño de espigones

En el diseño de espigones se recomienda adicionalmente tener en cuenta los siguientes criterios:

a. Si el oleaje dominante forma un ángulo con respecto a la playa se recomienda colocar los espigones normalmente al oleaje para evitar erosión por turbulencia en la punta del espigón. Si no existe dirección predominante se colocan generalmente normales a la costa.

b. Los espigones deben tener una altura constante con respecto al fondo de playa, evitando los muros altos que producen erosiones fuertes y en algunos casos la destrucción del espigón. En la punta del espigón se disminuye la altura para evitar turbulencias.

c. A medida que progresa la sedimentación la altura del espigón puede ajustarse aumentándola para conseguir efectos acumulativos.

d. Los elementos deben ser lo suficientemente grandes para resistir las características del oleaje, siguiendo el criterio que se menciona más adelante para los rompeolas.

e. El ancho de la corona del espigón debe ser al menos 1.5 veces el diámetro de las piedras más grandes y suficiente para el paso del equipo de mantenimiento.

f. Los taludes laterales generalmente son de 1.5 H : 1V o 2H : 1V.

3.5.6 Ventajas y Desventajas del uso del Espigón

Tabla N°3.7 Tabla Coeficientes de Reflexión según el tipo de estructura

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Los espigones son efectivos para controlar la erosión debida al transporte de sedimentos a lo largo de la orilla. 2. Se tiene mucha información sobre el comportamiento de los espigones en variadas condiciones ambientales. 3. Los espigones se construyen desde la playa hacia el mar, siendo relativamente económica su construcción. 4. Los espigones no cambian las condiciones de la zona de rompimiento de las olas. La altura de las olas después de construidos los espigones prácticamente no cambia. 5. Los espigones pueden construirse con muchos tipos de materiales diferentes (piedra, pilotes, tablestacas, gaviones, bolsacreto, etc.) 6. Los espigones permiten ajustar sus dimensiones después de construidos para ajustarlos a los efectos generados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los espigones no son efectivos para impedir la pérdida de arena hacia el fondo del mar. 2. En los espigones se generan corrientes fuertes de agua a lo largo de sus flancos produciéndose pérdida de arena hacia el fondo del mar. 3. Los espigones pueden generar erosión en las playas vecinas al impedir el paso de sedimentos a lo largo de la orilla. 4. No existe claridad sobre la filosofía del diseño. Si deben ser largos o cortos, altos o bajos, permeables o impermeables.

Fuente: U. S. Army Corps of Engineers

3.6 RECOMENDACIONES PARA OBRAS DE ABRIGO

- Se debe considerar que a medida que se está más alejado de la línea costera, la obra de abrigo será más profunda.
- Para el diseño de una obra de abrigo, se debe de tomar en cuenta, las olas que viajan integras desde la zona de generación hasta la zona de rompiente. En ese rango y en un periodo determinado de años de estudio, se debe de tomar en cuenta el oleaje extremal.
- Al plantear una obra de abrigo, se interrumpe el proceso natural que existe en la costa, por lo que, debe exigirse la realización de un estudio del transporte de sedimentos que defina el estado de la costa, de no encontrarse en equilibrio deberá evaluarse el proceso de erosión y sedimentación que generara la obra de abrigo.
- Para el planteamiento de una obra de abrigo, se debe de tomar en cuenta el tipo y el volumen de carga que se pretende transportar. Asimismo, la vida útil que se pretende, debe tener la estructura marítima. Por tanto, con una

obra de abrigo, se maximiza el carguío y se facilitan las maniobras portuarias.

- Con la Ola extrema, las características del fondo marino, disponibilidad de materiales y equipos y factores relativos a la zona del proyecto, se procederá al diseño de la unidad del manto principal de la obra de abrigo. Cuando el oleaje llega al rompeolas, se debe de conocer la altura y el periodo de la ola, ya que con ello se define el peso de la roca que soportara el choque de las olas. Definiendo el peso de la roca, se recomienda llevar a un laboratorio y ensayar con el oleaje máximo, y así notar si la ola no pasa el rompeolas, fenómeno conocido como “run up”

CAPÍTULO IV: CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE

En el país, lo más idóneo es diseñar un puerto con un muro transparente, es decir a base de pilotes, debido a las condiciones geotécnicas que presenta el litoral peruano. Por el contrario, una propuesta usando estructura tipo cajón, es comprometido por la energía del oleaje y por el tipo de suelo.

Para el diseño de una obra de atraque (puerto), se debe de tomar en cuenta, entre otros factores, dos factores principalmente:

- *Profundidad* dado por el *Calado*
- *Tranquilidad* que mantiene relación con el *Oleaje*

4.1 SELECCIÓN DE TIPOLOGIA ESTRUCTURAL

En la selección de una tipología estructural sobre otra, existen numerosos factores a ser evaluados. Por ello, antes de tomar una decisión sobre la tipología a usar, se deberá prestar suma atención al tipo de estructura que resistirá, a las condiciones meteorológicas e hidrológicas adversas, fuerzas de atraque y amarre y los efectos dañinos de un entorno marino que requiera de algún mantenimiento. Asimismo, es importante tomar en cuenta los costos de construcción, de operación y las características geotécnicas del espacio determinado.

Por ejemplo, con suelos de baja resistencia, una estructura soportada sobre pilotes podrá ser más efectiva; pero de presentar un suelo adecuado, una estructura de gravedad podrá ser la más viable y económica.

4.1.1 Criterios para la elección de la tipología estructural

Se debe tomar en cuenta la factibilidad de cada una de las tipologías estructurales frente a los requerimientos de uso y explotación. En donde, las

consideraciones más importantes para la elección de la tipología estructural son las siguientes:

a) Consideraciones de uso y explotación

Se refiere y asocia principalmente a los tipos de buque y mercancía y a los niveles de operatividad incluyendo equipos de manipulación y la superficie necesaria. Las sobrecargas de uso y de los equipos de manipulación de mercancías transmiten solicitaciones importantes, provocando el uso de elementos estructurales complementarios o el sobredimensionamiento de la estructura resistente.

Las estructuras de gravedad son más adaptables a diferentes requerimientos de uso y explotación, presentando una mayor adaptabilidad a sobrecargas importantes; sin embargo, en el país no son del todo apropiadas. Por el contrario, las estructuras a base de pilotes predominan en un proyecto portuario.

b) Consideraciones geotécnicas

La calidad y homogeneidad del terreno de cimentación es un factor fundamental para la elección de la tipología estructural.

En el caso de terrenos heterogéneos, donde pueden presentarse variaciones importantes en las condiciones de cimentación en distancias próximas habrá que juzgar en cada caso qué flexibilidad de adaptación presentan las diferentes tipologías.

Las estructuras de tipo transparente son aplicables a todo tipo de terreno, con la excepción de roca cerca de la superficie. Su utilización es recomendable en terrenos donde el substrato resistente está a una profundidad excesiva respecto del calado del proyecto.

Por otro lado, las estructuras de tipo opaco, requieren suelos de cimentación competentes, de elevada capacidad portante, tanto por condiciones de estabilidad como por asientos, localizados en niveles accesibles.

c) Consideraciones morfológicas

La suma de la superficie disponible en planta, los calados naturales existentes y las variaciones del terreno de la obra de atraque pueden condicionar su tipología estructural.

De disponerse de espacio limitado, las soluciones de pantallas, de recintos de tablestacas, de celosías espaciales, de pilotes o flotantes suelen ser más convenientes, ya que las obras de gravedad ocupan mucha superficie en planta debido a la necesidad de disponer de grandes banquetas de cimentación.

Por ejemplo, para evitar el excesivo transporte de sedimentos a lo largo de la costa dado por las corrientes litorales, se recomienda el uso de estructuras del tipo transparente, de tal forma que no altere el equilibrio morfodinámico existente antes de la intervención.

d) Consideraciones climáticas

El clima en la zona de la estructura, es también un condicionante para la elección de la tipología estructural de la obra de atraque. Por ello, si el clima es severo y la obra se encuentra expuesta, será adecuado emplear tipologías abiertas o flotantes.

Adicionalmente, condiciona el proceso constructivo, especialmente cuando se construye en aguas no abrigadas. Siendo, la prefabricación la alternativa más adecuada.

e) Consideraciones medioambientales

La existencia de dificultades ambientales relacionadas con la apertura y explotación de canteras, con el transporte de materiales de construcción o con la remoción y vertido de productos de dragado puede condicionar la utilización de tipologías. Sin embargo, siempre que sea posible, se elegirán tipologías que

favorezcan la calidad del agua, la circulación y la no retención de elementos flotantes.

El tipo de estructura estará fuertemente influenciado por la vida acuática y las instalaciones existentes a lo largo de la orilla de la instalación proyectada. En las zonas ambientalmente sensibles, tales como estuarios, el muelle de tipo sólido podría perturbar o destruir una considerable longitud de costa; por lo tanto, no debe ser considerado. En este caso, se recomienda utilizar un tipo de estructura transparente, la cual tendría un menor impacto en la costa.

f) Consideraciones sísmicas

En regiones donde los agentes sísmicos son importantes, la elección de la tipología estructural está sujeta al comportamiento del terreno frente a las altas sollicitaciones de empuje sísmico lateral que pueden desarrollarse, a la interacción suelo-estructura y su respuesta estructural.

En obras fijas abiertas, los pilotes son susceptibles a la licuefacción, y es preferible considerar un dique de roca para resistir las fuerzas laterales que pueden ser causados por este fenómeno. Adicionalmente, el uso de un filtro entre el dique de roca y el relleno granular también debe ser considerado.

4.1.2 Muelle transparente

4.1.2.1 Muelle de pilotes

En el diseño de un muelle de tipo abierto, como se presenta en la fig. N°4.1, conformado por una plataforma soportada por pilotes o estacas verticales, la resistencia lateral, momento flexionante y fuerza cortante de estaca, y fuerza axial se podrá calcular conforme al método de punto fijado virtual basado en el método de Chang.

Las demandas de carga verticales son soportadas y resistidas por los pilotes, los cuales se apoyan en el suelo transmitiendo su carga por intermedio de la presión de punta, el roce del pilote enterrado o una combinación de ambos. Las fuerzas

horizontales son resistidas por momentos en los pilotes en el caso de muelles de pilotes verticales o a través de esfuerzos de tracción y compresión en el caso de muelles que presenten pilotes inclinados.

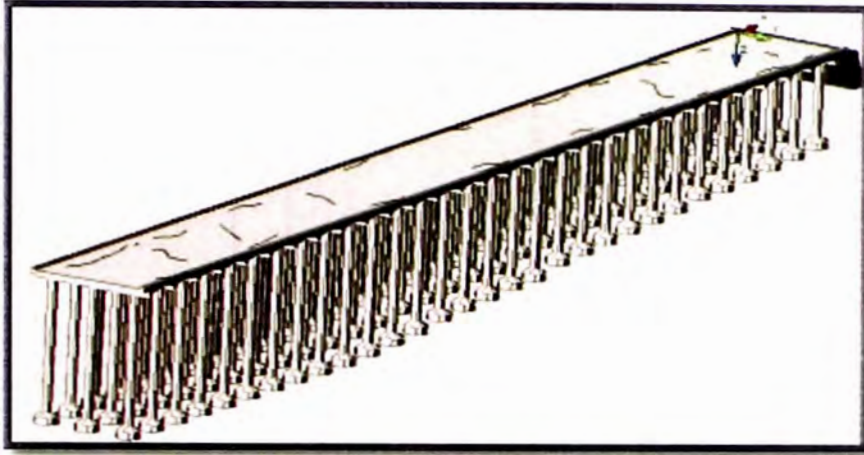


Figura N° 4.9 Esquema General de un muelle con pilotes

Elaboración Propia

Superestructura

Para las cargas concentradas que controlan el diseño de la cubierta, se recomienda una losa sólida con alta resistencia al corte y punzonamiento que generan las grúas, al posicionarse para realizar las maniobras portuarias. Siendo desde el punto de vista de la durabilidad, el mantenimiento y ciclo de vida económica, la más recomendable.

Subestructura

Por lo general, una estructura en base a pilotes verticales se clasifica como flexible y en base a cuplas de pilotes, es considerada rígida.

- Sistema de Pilotes Verticales

En este caso, el “efecto marco” o el marco rígido formado por los pilotes y la viga cabezal, tal y como se aprecia en la fig. N°4.2, resisten las cargas laterales principalmente por la rigidez a flexión de los pilotes.

Se requiere de un mayor análisis en estructuras angostas, porque incluso con cargas laterales pequeñas, la deflexión lateral puede ser elevada, aumentando la longitud efectiva del pilote como una columna. A diferencia de estructuras anchas que requieren un gran número de pilotes, pues su rigidez resultante justifica una longitud efectiva reducida.

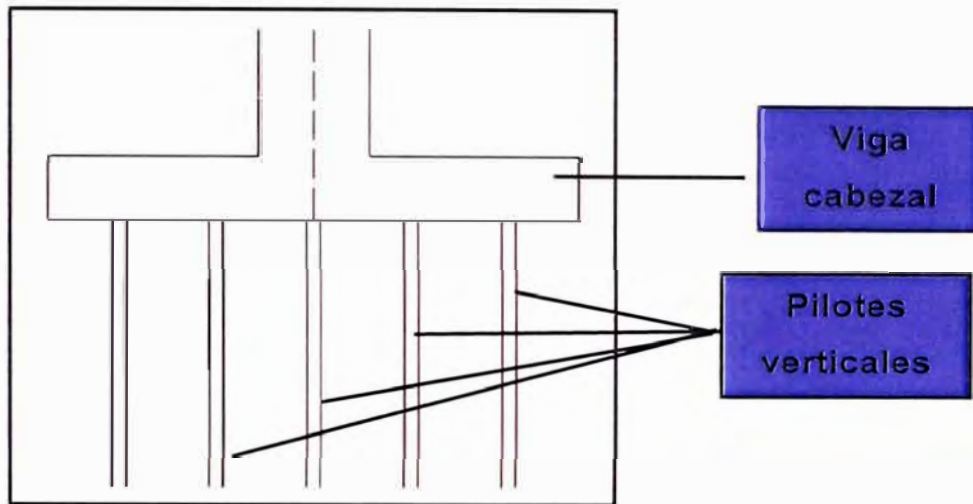


Figura N° 4.10 Esquema básico de pilotes verticales

Elaboración Propia

- Sistema de Pilotes Inclínados

Este sistema presentado en la fig. N°4.3, es adecuado para zonas sísmicas como es el caso del Perú, pues los periodos naturales generalmente son más bajos que las estructuras de tipo marco que forman los pilotes verticales.

Este sistema, normalmente está formado por sistema de cuplas, que son las encargadas de resistir, en principio, las cargas laterales como las fuerzas sísmicas, fuerzas de reacción de las defensas y fuerzas de amarre.

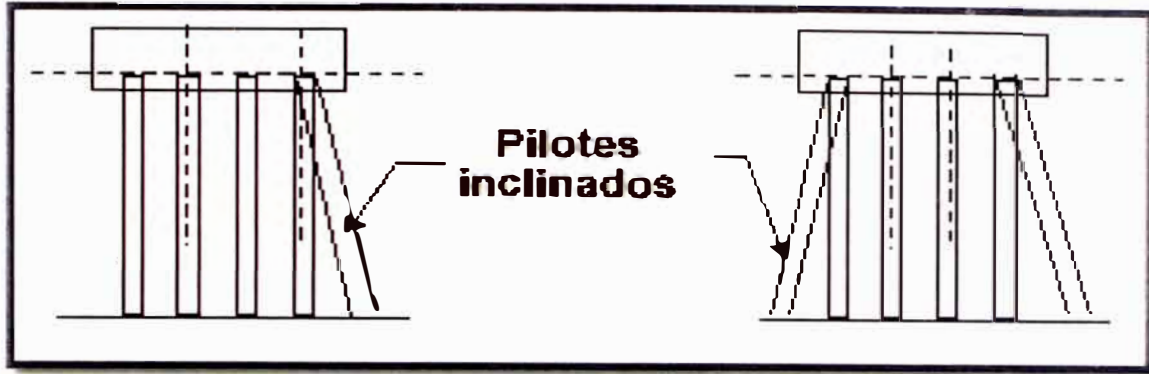


Figura N° 4.11 Esquema básico de pilotes inclinados

Elaboración Propia

- Sistema de Pilotes verticales e inclinados

Este sistema, que se ejemplifica en el gráfico N°4.4, es la combinación de los dos anteriores, en donde los pilotes verticales soportan las cargas verticales y los pilotes inclinados soportan las cargas laterales.

En términos económicos, es más rentable en comparación a los anteriores sistemas; sin embargo, se debe tener cuidado en zonas de alta actividad sísmica, porque el aumento de la rigidez del sistema provoca cargas sísmicas mayores pues el periodo natural se reduce.



Figura N° 4.12 Esquema de pilotes verticales e inclinados

Fuente: Puerto de Yacht Club Ancón

4.1.2.2 Conceptos para el diseño

Superficie virtual del terreno

Se debe de asumir una superficie teórica ubicada a una elevación apropiada para cada pilote, tal como se muestra en la fig. N°4.5, que permitirá el cálculo de la resistencia lateral y la capacidad portante de los pilotes.

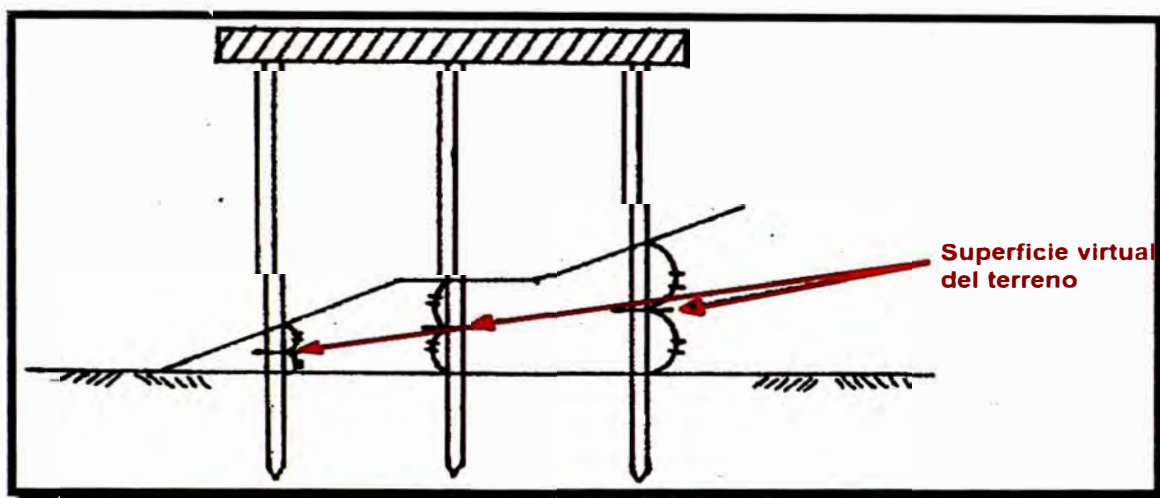


Figura N° 4.13 Superficie teórica del terreno

Elaboración Propia

Longitud de empotramiento

El cálculo de la longitud de empotramiento es diseñado normalmente mediante el método del empotramiento virtual, y además, tomando en cuenta las condiciones del fondo marino presente en el lugar de emplazamiento.

- Longitud extra de empotramiento

En muelles sobre pilotes verticales, el punto virtual de empotramiento de los pilotes puede considerarse ubicado a una profundidad de $1/\beta$ bajo la superficie virtual del suelo. Donde β es calculado de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_H * D}{4EI}}$$
$$L = \frac{1}{\beta}$$

Dónde:

D : Diámetro o ancho del pilote, cm

EI : Rigidez flexural del pilote $E = 10000 \sqrt{f'_c}$

K_H : Parámetro que depende del número de golpes de penetración standard a una profundidad estimada. Usualmente: $k_H = 1.5 N$

N: Valor promedio desde la superficie hasta una profundidad cercana a $1/\beta_T$

β_T : Punto fijo teórico

L: Longitud extra del pilote

Estados de carga

En general, las cargas a las que están sometidas este tipo de estructuras son complejas y bastante heterogéneas. Estas cargas pueden dividirse en tres grupos generales:

- a) Provenientes del lado marino
- b) Provenientes del mismo muelle
- c) Proveniente del lado terrestre

En el gráfico N°4.14, se indica los tipos de cargas más usuales:

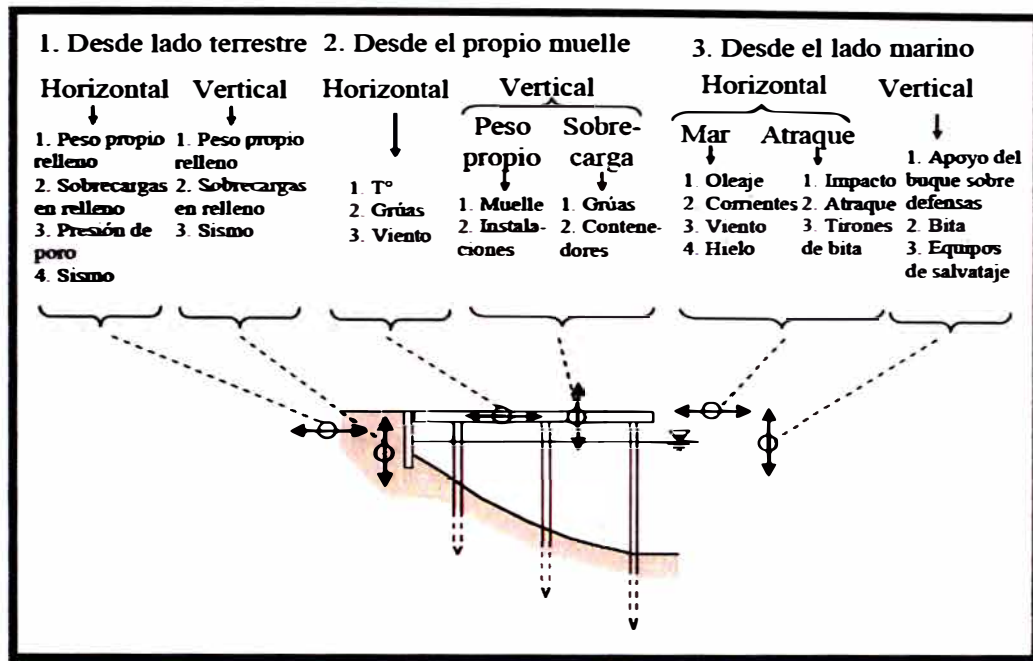


Figura N° 4.14 Esquema: Tipos de cargas en los muelles

Fuente: Libro Port Engineering Volumen 1, pág. 717

Se deberá evaluar que solicitaciones requieren ser consideradas en el cálculo de la estructura. A continuación se enumeran las solicitaciones generales a considerar:

- Peso propio

Las solicitaciones debidas al peso propio deben ser determinadas de acuerdo al Capítulo 2.3.2

- Sobrecarga

Las solicitaciones debidas a la sobrecarga deberán ser determinadas de acuerdo al Capítulo 2.3.5

- Sistemas de transporte y manipulación de carga

Las solicitaciones debido a los sistemas de trasporte y manipulación de carga deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.6

- Atrache

Las solicitaciones debidas al atraque deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.7.2

- Amarre

Las solicitaciones debidas al amarre deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.7.3

- Temperatura

Las solicitaciones debidas a los cambios de temperatura deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.8

- Viento

Las solicitaciones debidas a la acción del viento deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.9

- Oleaje

Las solicitaciones debidas a la acción del oleaje deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.10

- Corrientes

Las solicitaciones debidas a las corrientes deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.11

- Sismo

Las solicitaciones sísmicas de un muelle de gravedad deberán ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.12

4.1.2.3 Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga corresponderán a las enunciadas en el capítulo 2.3.15

4.1.2.4 Modos de falla más usuales

Capacidad de carga última de pilotes

La capacidad de carga última de los pilotes está compuesta por la resistencia a la fricción y la resistencia en la punta y se analizará de acuerdo al tipo de suelo en donde se encuentre.

Por ejemplo, en suelos granulares la resistencia por punta es generalmente mayor que la resistencia por fricción lateral, luego:

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

Como factores de seguridad mínimo se podrán utilizar los siguientes valores indicados en la tabla N°4.1.

Tabla N° 4.2 Factores de seguridad mínimos

Estructura	Caso normal	Caso sísmico
Compresión Soporte por punta	2.5	1.5
Soporte por fricción	2.5	2.0
Tracción	3.0	2.5

Fuente: ROM 2.0-11

 Desplazamiento admisibles

Se fijarán en base a los requerimientos del uso que se le dé a la instalación y las condiciones donde se encuentre ubicada. O en todo caso, se puede usar los valores indicados en la tabla N°4.2.

Tabla N° 4.3 Desplazamiento admisible para muelles

Tipo deformación	Elemento estructural	Deformación admisible
Desplazamiento vertical	Vigas de piso	L/300
	Cerchas y enrejados	L/700
	Vigas de soporte motores, reductores de poleas y chutes	L/500
	Costaneras, planchas de techo	L/200
	Vigas en voladizo	L/150

Tipo deformación	Elemento estructural	Deformación admisible
Desplazamiento horizontal	Cabezal de pilotes o columnas	$H/300 \leq 100\text{mm}$
	Muros y tabiques flexibles	H/250
	Columnas de viento	H/200
	Galerías para transportadoras	H/500
	Costaneras, planchas laterales	H/120
Deformaciones sísmicas	General	Según norma

Fuente: ROM 2.0-11

4.1.3 MUELLES FIJOS CERRADOS

Entre las estructuras principales, tenemos:

4.1.3.1 Muelle de Gravedad

Generalmente son utilizados para retener suelo recuperado, utilizándose escombros o relleno granular inmediatamente detrás de un muro de contención, con el fin de minimizar los efectos del desfase de marea y reducir los empujes. Mediante su propio peso, la estructura resiste las acciones propias de las cargas de uso y del terreno posterior relleno del trasdós.

Principalmente, cuando el fondo del mar es de buena calidad, los muelles de gravedad son una excelente alternativa. Por ejemplo, pueden ser usados en roca, arena densa o arcilla dura, en la fundación cercana al nivel de dragado. Y en algunos casos, pueden ser empleados en suelos débiles si el lecho marino es dragado y reemplazado con material de calidad o si los asentamientos resultantes son aceptables.

Tipos

Los muelles de gravedad pueden clasificarse en: tipo cajón de hormigón armado, muro tipo L, bloques de hormigón, bloques celulares de hormigón (cajón) y de hormigonado in situ. A mayor detalle se explica en el capítulo 1.5.1.3.2.

Estructuración

a) Coronamiento

Con la finalidad de proporcionar un frente llano y nivelado, los distintos tipos de muros de gravedad, incorporan un recubrimiento in situ de concreto simple o armado. Este coronamiento permite contrarrestar cualquier irregularidad debido a la desalineación o asentamientos de la construcción; logrando así, distribuir correctamente las acciones concentradas en la estructura.

b) Servicios y carril de grúas

La cimentación de los rieles de las grúas y los conductos de servicios pueden tener como soporte el recubrimiento de concreto de la estructura.

c) Frente del muro

Con la finalidad de compensar la inclinación hacia el mar, provocado por los asentamientos de la cimentación luego del relleno del trasdós, la cara frontal del muro debe presentar pendiente en dirección hacia el lado de la tierra. Teniéndose sumo cuidado en proveer el espacio necesario para el atraque de los buques.

d) Prevención de pérdida de material

Es importante usar filtros adecuados para prevenir la pérdida de material fino a través de las juntas de los muros de gravedad o por debajo de la estructura. Por ello, es relevante que las juntas se mantengan selladas. Asimismo, como la corriente y la acción de las olas pueden socavar el frente y la parte baja de la estructura, el uso de una escollera de protección frente al muro que debe extenderse hacia afuera por lo menos 1,5 veces la manga de la embarcación de diseño, previene daños potenciales.

4.1.3.2 Estado de carga

Dependiendo del tipo de muelle de gravedad, se deberá evaluar que solicitaciones requieren ser consideradas en el cálculo de la estructura. A continuación se enumeran las solicitaciones a considerar:

- Peso propio

Las solicitaciones debidas al peso propio deben ser determinadas de acuerdo al Capítulo 2.3.2

- Empuje hidráulico

Las solicitaciones debidas al empuje hidráulico deberán ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.4

- Sobrecarga

Las solicitaciones debidas a la sobrecarga deberán ser determinadas de acuerdo al Capítulo 2.3.5

- Sistemas de transporte y manipulación de carga

Las solicitaciones debido a los sistemas de transporte y manipulación de carga deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.6

- Atraque

Las solicitaciones debidas al atraque deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.7.2

- Amarre

Las solicitaciones debidas al amarre deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.7.3

- Temperatura

Las solicitaciones debidas a los cambios de temperatura deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.8

- Viento

Las solicitaciones debidas a la acción del viento deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.9

- Oleaje

Las solicitaciones debidas a la acción del oleaje deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.10

- Corrientes

Las solicitaciones debidas a las corrientes deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.11

- Sismo

Las solicitaciones sísmicas de un muelle de gravedad deberán ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.12

4.1.3.3 Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga corresponderán a las enunciadas en el capítulo 2.3.15

4.1.3.4 Calculo de estabilidad

En general, para la verificación de la estabilidad de un muro de gravedad, se debe examinar lo siguiente:

- Deslizamiento del muro
- Capacidad de soporte del suelo de fundación
- Volcamiento del muro
- Asentamiento
- Deslizamiento circular

📌 Verificación de Deslizamiento del Muro

Se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$F_{SD} \geq \frac{f \cdot W_V}{P}$$

Dónde:

f : Coeficiente de fricción entre el suelo de fundación y el muro (revisar tabla N°4.3)

W_v : Resultante de las fuerzas verticales que actúan el muro, tonf

P : Resultantes de las fuerzas horizontales que actúan sobre el muro, tonf

F_{SD} : Factor de seguridad al deslizamiento $\left\{ \begin{array}{l} \geq 1.2 \text{ en condiciones normales} \\ \geq 1.0 \text{ en condiciones extraordinarias} \end{array} \right.$

Asimismo, la resultante vertical (W_v) será el resultado de la suma de la fuerza vertical del empuje de tierra que actúa sobre el plano teórico y el peso del cuerpo teórico del muro, restándoles la fuerza de boyante y la sobrecarga sobre el cuerpo teórico del muro.

Por otro lado, la resultante horizontal incluye lo siguiente:

- a) Componente horizontal del empuje de tierra que actúa en el plano posterior al muro teórico con sobrecarga aplicada.
- b) Presión de agua residual.
- c) En el cálculo de estabilidad durante un sismo, se deberá incluir la fuerza sísmica derivada del peso del muro sin excluir la subpresión, además de las descritas en a) y b).

Tabla N° 4.4 Coeficientes de fricción estática

Concreto contra concreto	0,5
Concreto contra fondo rocoso	0,5
Concreto sumergido contra fondo rocoso	0,7 - 0,8 ¹
Concreto contra escollera	0,6
Escollera contra escollera	0,8
Madera contra madera	0,2 (húmeda) - 0,5 (seca)
Colchón con fricción incrementada y escollera	0,7 - 0,8

¹ La fricción entre concreto sumergido y fondo rocoso, en condiciones normales, debería ser 0,8. Sin embargo, cuando este fondo es frágil o tiene grietas, o cuando el movimiento de arena sobre el fondo es intenso, el valor del coeficiente debería ser reducido a 0,7, dependiendo de la condición.

² Cuando se calcule la estabilidad de bloques de hormigón celular, referirse a Part VIII, 4.4 Cellular Blocks, British Standard.

Fuente: ROM 2.0-11

👉 Verificación de la capacidad de soporte del suelo

De acuerdo a la capacidad de soporte de la cimentación y de acuerdo al tipo estructural, el muelle de gravedad adoptara una cimentación poco profunda o de pilotes.

En el caso de una cimentación poco profunda, la fuerza resultante de las cargas verticales y las horizontales es la fuerza que predomina en el fondo del muro. Y determinando la capacidad de soporte de la cimentación y tomando en cuenta el grado de concentración de fatiga parcial en el suelo se determina el espesor del núcleo basal de la cimentación.

El espesor mínimo deberá ser como sigue:

- 0,5 m y 3 veces el diámetro del enrocado en caso de un muro de malecón con profundidad de agua < 4,5 m.
- 1,0 m y ≥ 3 veces el diámetro del enrocado en caso de un muro malecón con una profundidad de aguas $\geq 4,5$ m.

👉 Verificación al Volcamiento del muro

El factor de seguridad a volcamiento deberá satisfacer lo siguiente:

$$F_{sv} \leq \frac{W \cdot t_M}{P \cdot h_V}$$

Dónde:

W: Resultante de las fuerzas verticales que actúan sobre el muro, tonf.

P: Resultantes de las fuerzas horizontales que actúan sobre el muro, tonf.

t_M: Distancia entre la línea de aplicación de la resultante de las fuerzas verticales que actúa sobre el muro y la esquina frontal inferior del muro.

h_V: Altura de aplicación de la resultante de las fuerzas horizontales actuando sobre el muro, medida desde el fondo del muro.

F_{SD} : Factor de seguridad al volcamiento $\left\{ \begin{array}{l} 1.2 \text{ en condiciones normales} \\ 1.1 \text{ en condiciones extraordinarias} \end{array} \right.$

📌 Verificación en cimentación blanda

En el diseño de muros de tipo gravedad, si el suelo de la fundación es blando, se deberán examinar como mínimo los siguientes puntos:

- a) Estabilidad contra el deslizamiento según falla circular
- b) Hundimiento del suelo de fundación

4.1.3.5 Muelle de Pantalla

En este tipo de muelle (ver figura 4.7), la estructura principal recibe las fuerzas horizontales originadas por el terreno y las cargas de uso y explotación, y las transmite a través de su empotramiento o mediante el apoyo en el terreno de cimentación y la disposición de anclajes en el trasdós, logrando equilibrar los empujes generados por el relleno a ambos lados de la pantalla y por el terreno de cimentación, contrarrestados por la acción o reacción de los anclajes.

Es recomendable su uso en zonas arenosas y limosas o en terrenos cohesivos blandos pero contraindicada en zonas de roca dura o en terrenos arenosos con

bolones que no permitan el hincado y/o que impidan alcanzar los empotramientos necesarios

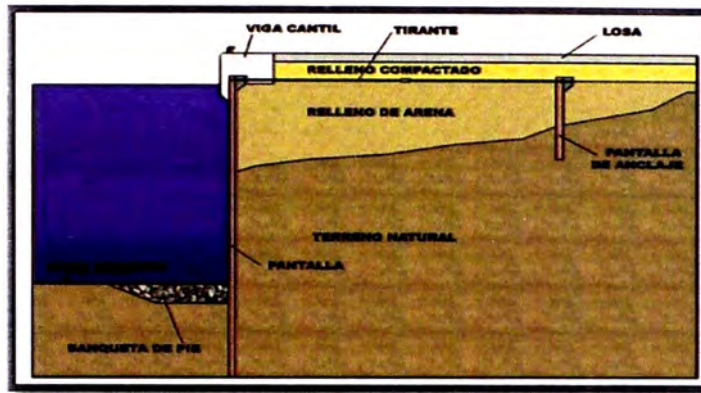


Figura N° 4.15 Muelle Pantalla

Fuente: Universidad Autónoma de Baja California, México

Estados de carga

Las solicitaciones a ser consideradas en el cálculo de muelles de pantalla, son las siguientes nombradas. Dependiendo del caso, se determinará la aplicación de todas las solicitaciones detalladas y/o si es necesario incluir alguna otra.

- Peso propio

Las solicitaciones debidas al peso propio deben ser determinadas de acuerdo al Capítulo 2.3.2

- Sobrecarga

Las solicitaciones debidas a la sobrecarga deberán ser determinadas de acuerdo al Capítulo 2.3.5

- Empuje hidráulico

Las solicitaciones debidas al empuje hidráulico deberán ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.4

- Empuje del suelo

Las solicitaciones debidas al empuje del suelo deberán ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.3

- Sistemas de transporte y manipulación de carga

Las solicitaciones debido a los sistemas de transporte y manipulación de carga deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.6

- Amarre

Las solicitaciones debidas al amarre deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.7.3

- Atraque

Las solicitaciones debidas al atraque deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.7.2

- Sismo

Las solicitaciones sísmicas de un muelle de gravedad deberán ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.12

- Temperatura

Las solicitaciones debidas a los cambios de temperatura deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.8

- Viento

Las solicitaciones debidas a la acción del viento deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.9

- Oleaje

Las solicitudes debidas a la acción del oleaje deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.10

Corrientes

Las solicitudes debidas a las corrientes deben ser determinadas de acuerdo al capítulo 2.3.11

Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga corresponderán a las enunciadas en el capítulo 2.3.15

4.1.4 RECOMENDACIONES EN OBRAS DE ATRAQUE

- Para el diseño de una obra de atraque, se requiere conocer la carga que define el tipo de nave y esta última, permite definir el tipo de obra de atraque.
- Se recomienda tomar en cuenta las características de la estructura, del uso de la misma y de las condiciones de oleaje y cimentación; para así, conocer el *costo estimado* de una estructura de atraque. Ya que por ejemplo, si la instalación de atraque no está protegida, la velocidad y la energía de la ola que llega al puerto será mayor y por ende, el costo también y la eficiencia operativa será menor.
- Para reforzar lo dicho en el párrafo anterior, y dadas las condiciones sísmicas de la costa peruana, las fuerzas por este concepto debe ser asumido por el diseñador, ya que en el país, no existe una norma que defina los parámetros sísmicos adecuados para el Perú.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Al momento de iniciar la tesis, no se disponía de una referencia bibliográfica directa en el país, ya que no existe un respaldo normativo y regulador de obras marítimas de abrigo y obras marinas de atraque. Luego del proceso de elaboración del presente documento, se puede concluir que existe una gran necesidad de regular y actualizar los estándares que rijan en el país, en el desarrollo portuario, específicamente.
- Se ha concluido, a través de la presente tesis, que no se dispone de información básica y fundamental para el diseño de toda obra portuaria. Esto se refiere, exclusivamente, a información del oleaje (olas cortas). Y a otros parámetros del ambiente, como por ejemplo los estudios de suelos, de costas y sobretodo de la división del uso de la costa.
- No hay una institución universitaria que haya tomado interés en hacer estudios para el desarrollo portuario de la costa del Perú.
- La presente propuesta es producto del análisis de la bibliografía encontrada, y basada en la experiencia de otros países.
- En el desarrollo de la tesis, al momento de plantear las recomendaciones para el diseño de las obras de atraque y las obras de abrigo, se constató que hay muchos criterios de diseño y una gran variedad de métodos de cálculos presentados por diversas normas extranjeras, concluyendo que la variabilidad de la información, puede afectar de alguna manera, la correcta ejecución de las obras en el país.
- Luego de revisar las distintas normas y recomendaciones, se concluyó que la información relevante para el diseño de obras de atraque y abrigo, tendrá como factor fundamental de inicio del estudio, el conocimiento del clima del oleaje, con la finalidad de determinar la ola extrema y la ola operativa.

- Se concluye que para el diseño de obras de abrigo es muy importante considerar la forma y ubicación del filtro de agua que estará dentro del dique ya que sin este la obra tendría una gran probabilidad de fallar.
- Se concluye que el tipo de muelle idóneo para el litoral peruano, es el muelle transparente, debido a las condiciones geotécnicas presentes, conjuntamente al tema económico. Un muelle opaco, no resulta una correcta alternativa, debido al elevado costo que representaría y al gran impacto que causaría un evento sísmico.

5.2 RECOMENDACIONES

- En la presente tesis solo se desarrolló las obras de atraque y abrigo, dejando de lado, otros elementos que conforman las obras portuarias; por ello, se recomienda que se completen en posteriores tesis y así, se pretende motivar a los futuros tesisistas en copar los demás tópicos.
- En el primer capítulo se desarrolla el punto de mecánica de olas, se recomienda tomar en cuenta para el diseño de las obras de atraque y amarre y de las obras de abrigo las olas regulares ya que esas son las que más se adaptan a nuestro país.
- Para el desarrollo del segundo capítulo, se constató que no se cuenta con una norma sísmica para las estructuras marítimas. Por ello, se recomienda plantear una guía sísmica o adaptar la norma peruana E030 al diseño sísmico de las obras de atraque y de abrigo.
- Se recomienda tomar en cuenta el cambio climático, por sus severas y devastadoras consecuencias, en el diseño de una estructura marítima y portuaria. El deshielo de los glaciares, producto del Calentamiento Global, que ha originado a lo largo del siglo pasado, un incremento de 10 a 20 centímetros del nivel medio del mar, es un factor a tomar en cuenta. En nuestro país, la desglaciación de la Cordillera de los Andes, será con los años, un agente crítico y determinante para el estudio técnico de una obra portuaria.
- Se recomienda también, tomar en cuenta los fenómenos meteorológicos presentados en el país, como es el caso del Fenómeno de El Niño, producto de la superposición de aguas cálidas procedente de la zona del hemisferio norte sobre las aguas frías que caracterizan la corriente de Humboldt. Ya que años atrás, esta situación provocó momentáneamente, un incremento del nivel del mar de 30cm en la costa del Perú.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almazán J, "Introducción a la Ingeniería Portuaria: Sistema Portuario Español", Universidad Politécnica de Madrid, 2003
2. Balkema A, " Seismic Design Guidelines for Port Structures, PIANC, Tokio, 2002
3. Brown F, "Shore Protection Manual", Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano, Mississippi, 1984.
4. Bruun P, "Port Engineering", Cuarta Edición Gulf, EEUU, 1989
5. Bustos P, " Infraestructura portuaria para Quicavi, Chiloé: Diseño de Obras marítimas mayores", Tesis de Pregrado, Valdivia, 2009
6. Cabildo P, " Plan Insular de Ordenación de Tenerife", Capitulo 7: Clima Maritimo, Tenerife, 2011
7. Del Moral R, Berenguer JM, "Curso de Ingeniería de Puertos y Costas", Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas, Barcelona, 1989.
8. Goda Y et al., "Technical Standards for Ports and Harbour Facilities in Japan", Instituto de Investigación Costera, Tokyo, 2002
9. Gonzales F, "Criterios de diseño de obras y mejoras", Empresa Portuaria Arica, Arica, 2004
10. Izaguirre C, "Estudio de la Variabilidad Climática de Valores Extremos del Oleaje", Tesis Doctoral, Cantabria, 2010
11. Llorca J et al., "Programa de Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM)", Madrid, 1990
12. Okamoto H, "Proyecto del Centro Hidráulico Portuario", Cooperación técnica Japón-México, 1987

13. Quinn A, "Design and Construction of Ports and Marine Structures", Editorial Mac Graw Hill, Michigan, 1961
14. Resio D et al., "Coastal Engineering Manual", Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano, Mississippi, 2006.
15. Tejada R et al., "Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras", Ministerio de Obras Públicas, Santiago de Chile, 2012.
16. Thoresen C, "Port Designer's Handbook " Segunda Edición, London, 2010
17. Zambrano V, "Plan Nacional de Desarrollo Portuario" , Autoridad Portuaria Nacional, Lima, 2012

ANEXOS

ANEXO 1.1: Obras Marinas

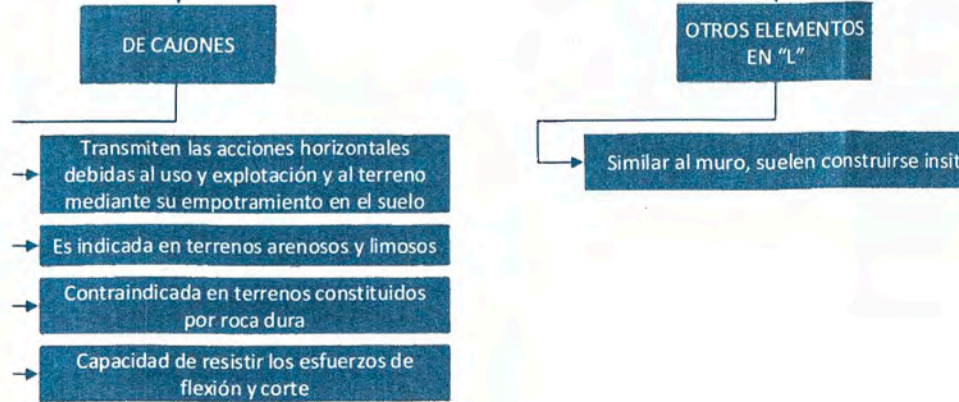
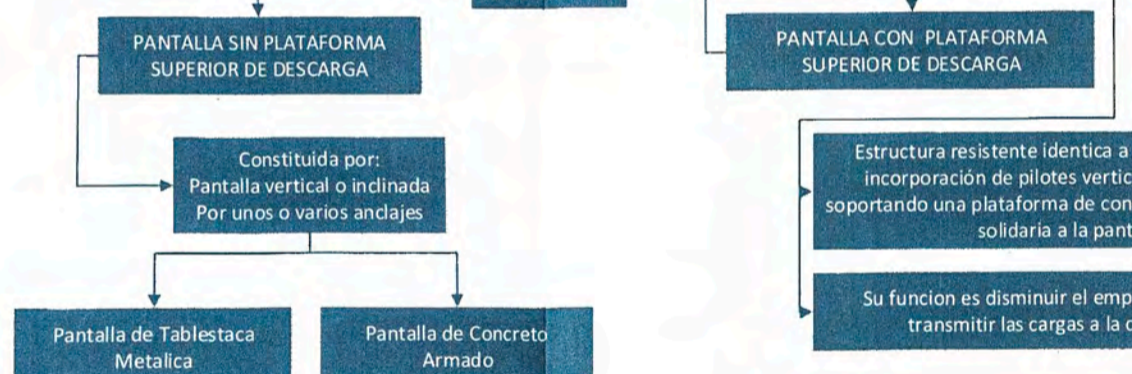
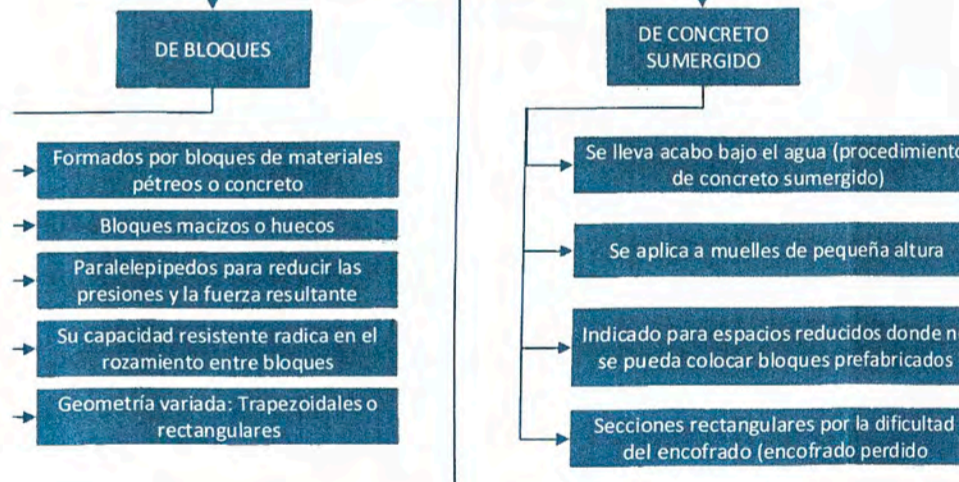
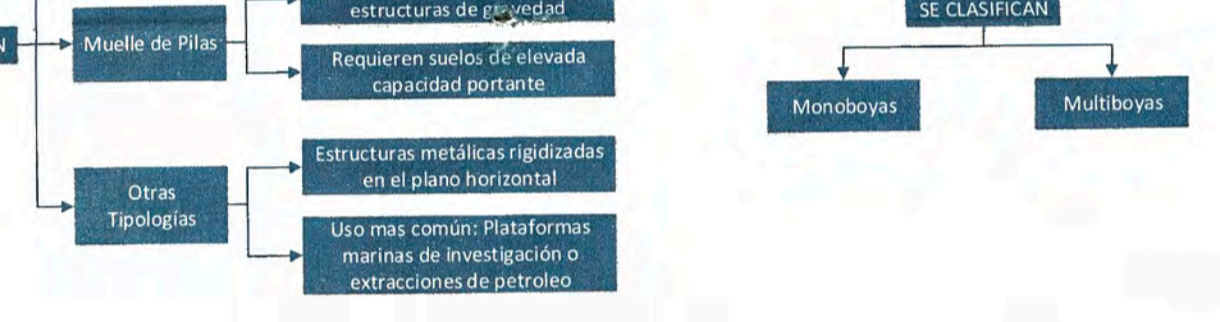
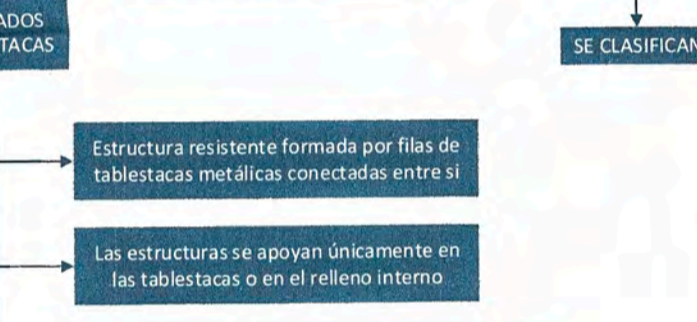
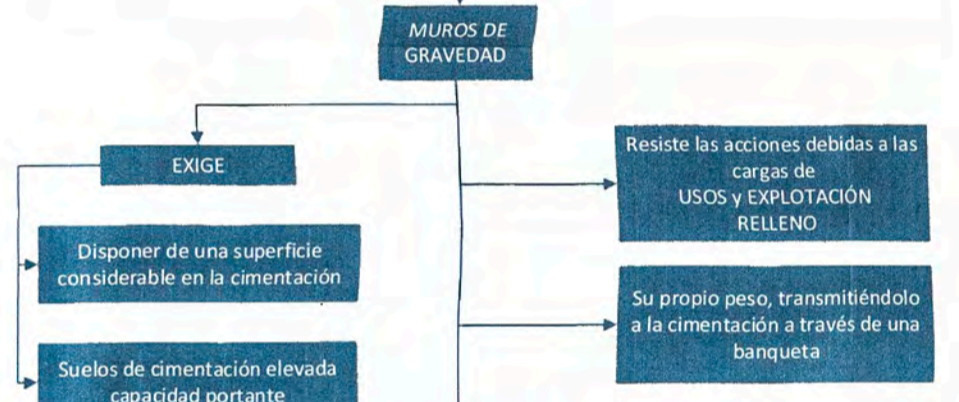
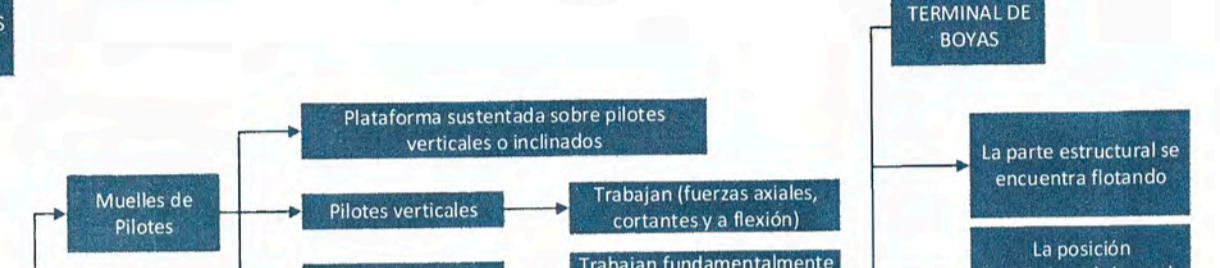
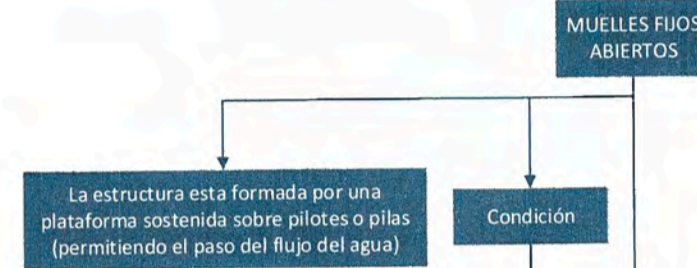
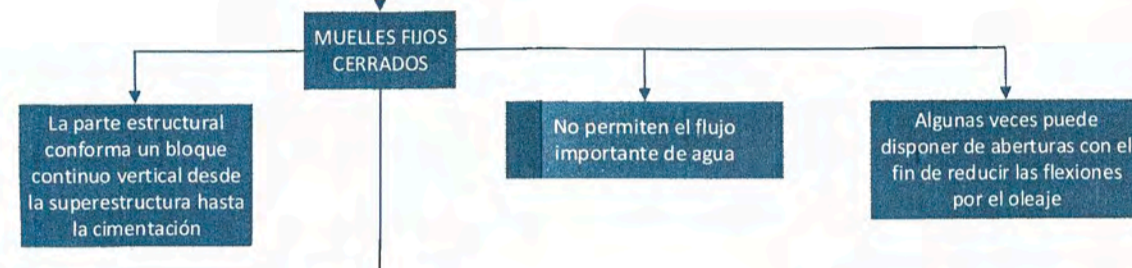
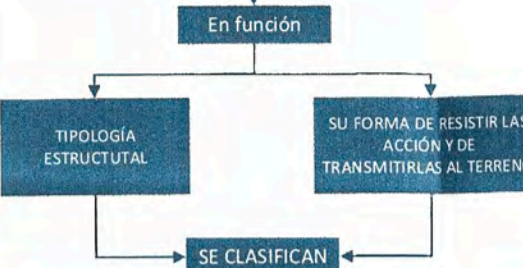
ANEXO 1.2: Tipo y Funciones de las Obras de Atraque

ANEXO 2.1: Generalidades de Diseño

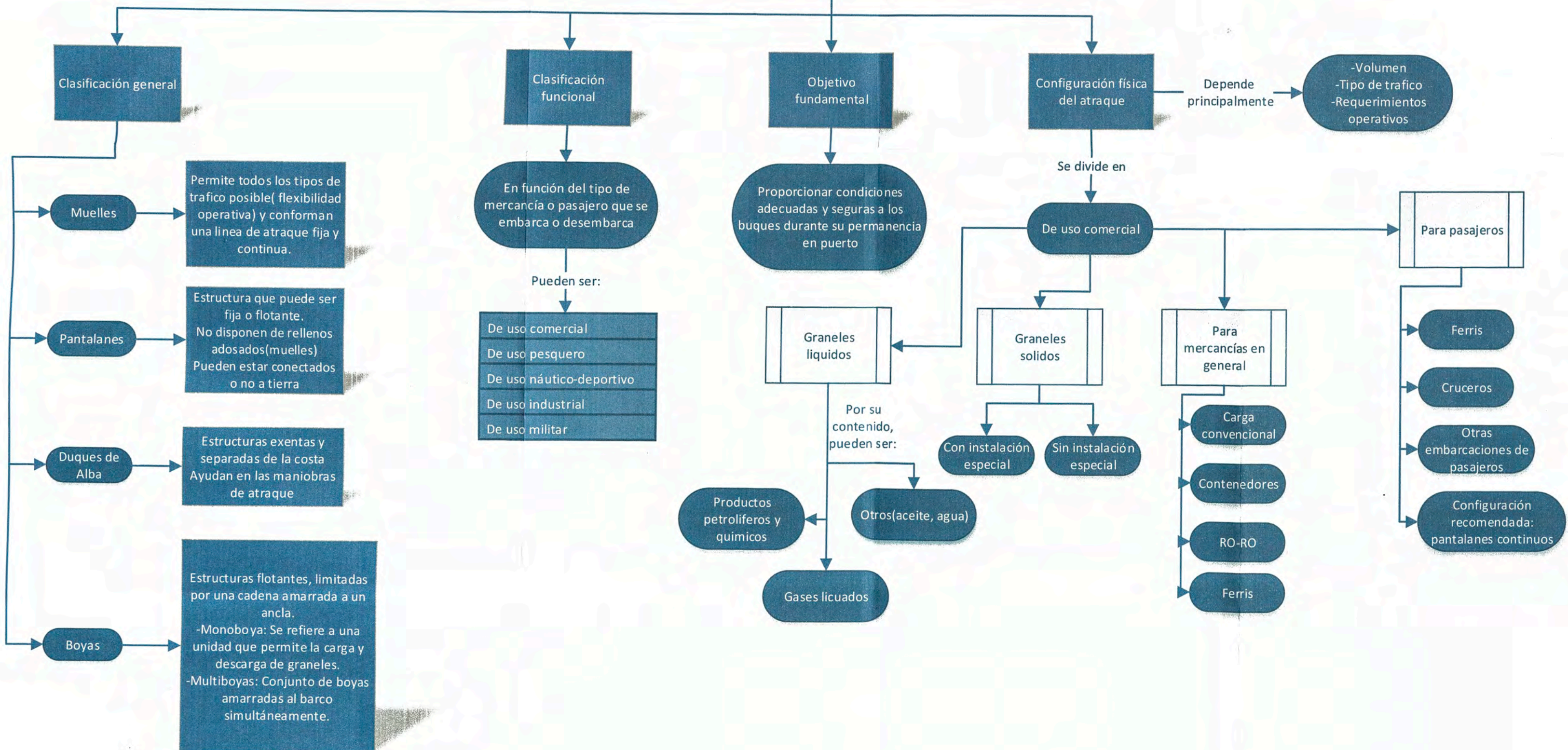
ANEXO 3.1: Criterios de Diseño de Obras de Abrigo

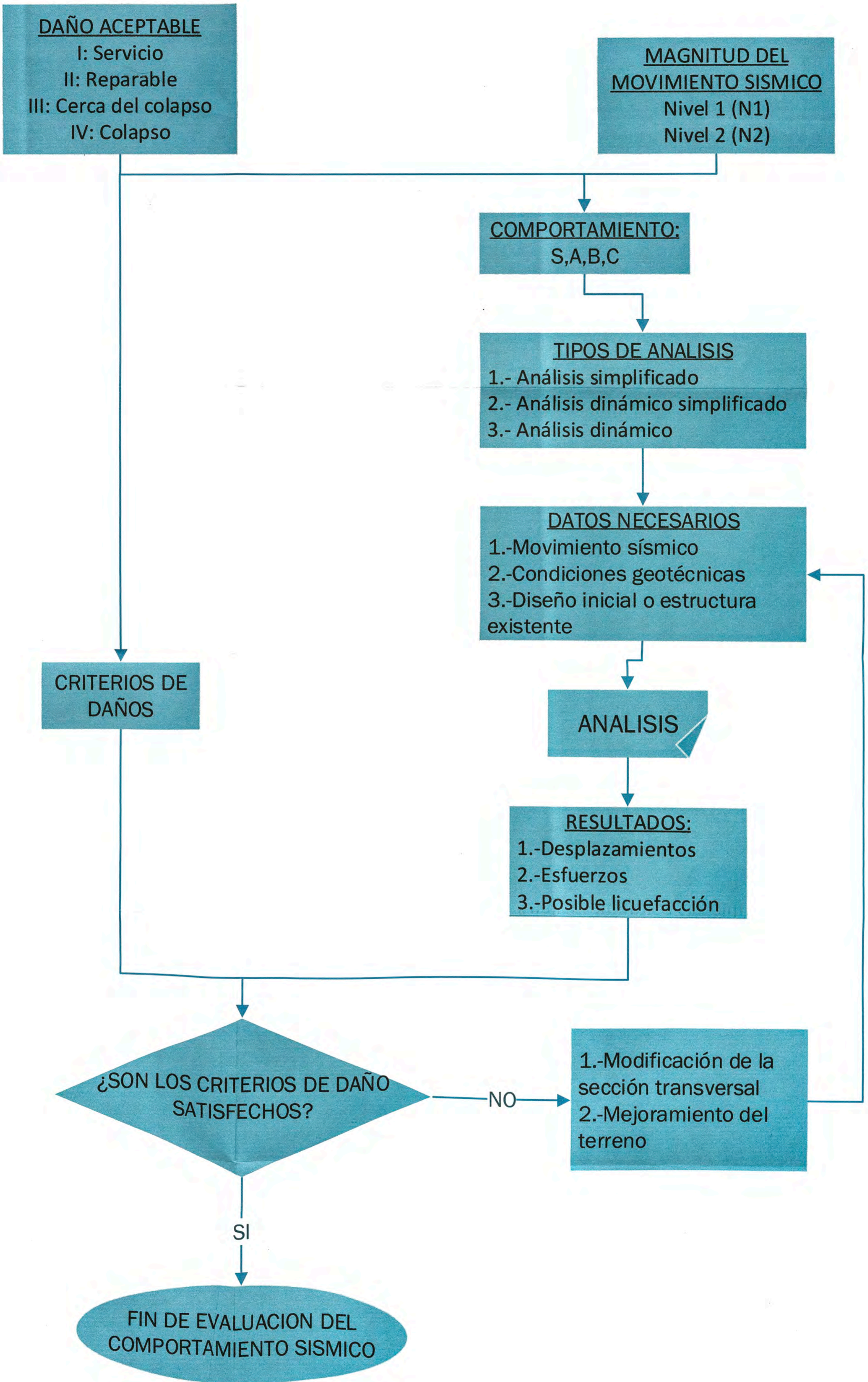
ANEXO 4.1: Criterios de Diseño de Obras de Atraque

OBRAS MARINAS

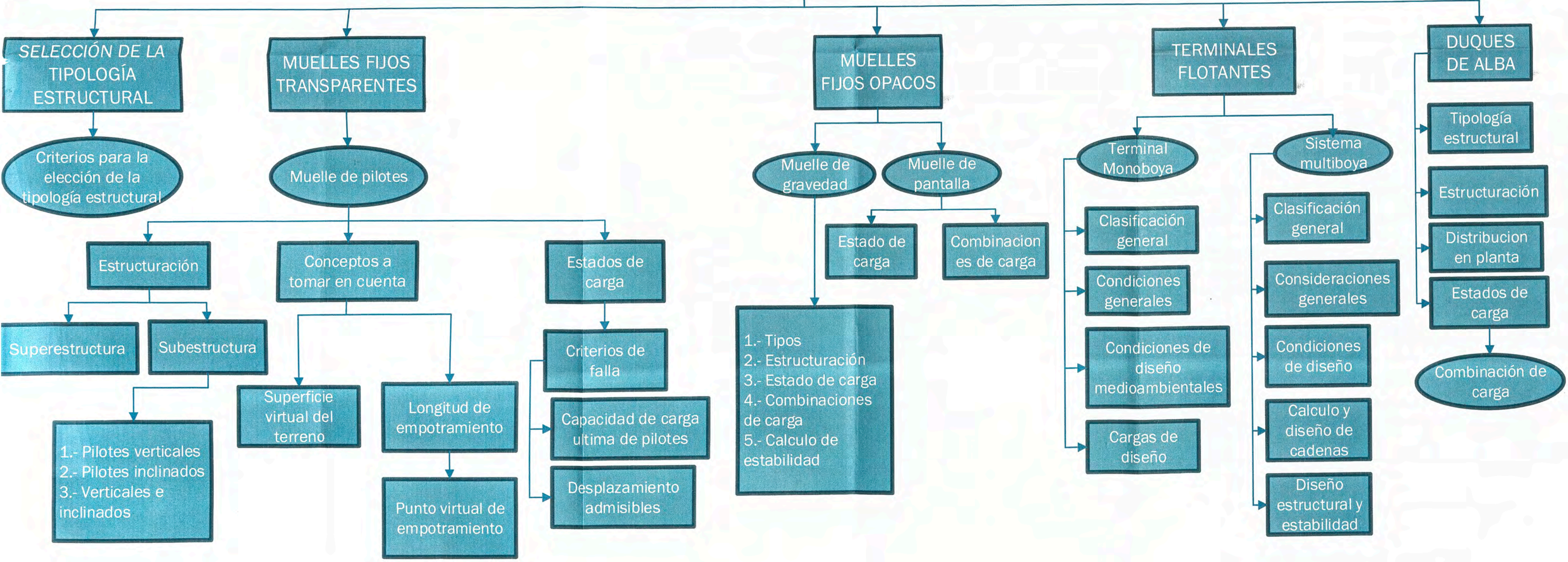


TIPOS Y FUNCIONES DE LAS OBRAS DE ATRAQUE





CRITERIOS DE DISEÑO DE OBRAS DE ATRAQUE



GENERALIDADES DE DISEÑO

