

**CONSIDERACIONES DE INGENIERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
MUELLES EN CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**



ERICK JOSÉ OCÓN GÓMEZ

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA D. T. Y C.**

2014

**CONSIDERACIONES DE INGENIERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
MUELLES EN CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**



ERICK JOSÉ OCÓN GÓMEZ

Trabajo De Grado Realizado Para Optar a El Título De Ingeniero Civil

ING. JAIRO ALVIS ALI

DIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA D. T. Y C.**

2014



CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3. ALCANCE.....	19
3.1 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA.....	19
3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL	20
3.3 ALCANCE DEL PROYECTO.....	20
4 MARCO TEÓRICO.....	21
4.1 OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE.....	21
4.2 CLASIFICACIÓN DE MUELLES	22
4.2.1 Clasificación funcional.	23
4.2.1.1 Comerciales.....	23
4.2.1.2 Pesqueros.	24
4.2.1.3 Náutico-deportivo.	24
4.2.1.4 Industriales.....	24
4.2.1.5 Militares.....	24
4.2.2 Clasificación según su tipología estructural.....	24
4.2.2.1 Partes y elementos de un muelle	24
4.2.2.2 Cerrados.	26
4.2.2.2.1 De gravedad.	26
4.2.2.2.2 De pantalla	29
4.2.2.2.3 Recintos de tablestacas.....	30
4.2.2.3 Abiertos.....	31
4.2.2.3.1 De pilotes	31
4.2.2.3.2. De pilas	32
4.2.2.3.3. Otros.....	32
4.2.2.4 Flotantes.....	32



4.2.2.4.1	Pontonas o pantalanés	32
4.2.2.4.2	Cajones.....	33
4.2.3	Clasificación según su orientación o forma	33
4.3	DETERIORO DEL CONCRETO ARMADO	35
4.3.1	Daños debidos a ataques químicos.....	35
4.3.1.1	Ataque por cloruros.....	35
4.3.1.2	Carbonatación	36
4.3.1.3	Ataque por sulfatos	36
4.3.1.4	Reacción álcali-árido (ASR)	37
4.3.2	Deterioro debido a causas físicas	38
4.3.2.1	Retracción	38
4.3.2.2	Ciclos hielo-deshielo.....	39
4.4	OBRAS DE ABRIGO (DIQUES)	39
4.4.1	Dique en talud	39
4.4.2	Dique Vertical.....	40
4.4.3	Dique mixto	40
4.4.4	Dique flotante.....	41
4.5	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE MUELLES	41
4.5.1	Cemento	41
4.5.2	Áridos triturados	42
4.5.3	Escollera.....	43
4.5.4	La armadura	43
4.6	DEFENSAS	44
4.6.1	Defensas FOAM	44
4.6.2	Defensas de goma	45
4.6.3	Defensas neumáticas.....	45
4.6.3	Defensas plásticas	46
5.	ANTECEDENTES	47
6.	ESTADO DEL ARTE.....	49
7.	MARCO LEGAL.....	53



8.	METODOLOGÍA	55
8.1	VISITAS A LA SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA	55
8.2	ANÁLISIS DATOS DE MONITOREO E INFORMES EMITIDOS POR EL CIOH.	56
8.3	ENTREVISTAS A LA DIMAR	57
8.4	CONSULTAS A LOS INGENIEROS DE SUELOS ÁLVARO COVO TORRES Y GUILLIAM BARBOZA.....	58
8.5	INVESTIGACIÓN DE REQUERIMIENTOS MORFOLÓGICOS PARA EMBARCACIONES	59
8.6	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS BATIMÉTRICOS DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA CIUDAD.....	59
8.7	INVESTIGACIÓN SOBRE CONTAMINANTES DE LA BAHÍA POR ACTIVIDAD PORTUARIA.....	60
8.8	INVESTIGACIÓN SOBRE MÉTODOS CONSTRUCTIVOS Y MATERIALES DISPONIBLES EN CARTAGENA	60
8.9	INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA GENERAL EN REVISTAS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MUELLES.	61
8.10	INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA GENERAL EN REVISTAS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MUELLES (PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE PARA ACTIVIDADES DE DRAGADO).	62
8.11	ANÁLISIS ESTRUCTURAL, SÍSMICO Y DE VIENTO EN LOS MUELLES	62
8.12	CONSULTAS A EXPERTOS EN CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MUELLES E INVESTIGACIONES ACERCA DE LOS MECANISMOS MÁS USADOS PARA PRESERVAR MUELLES	63
9.	RESULTADOS.....	64
9.1	TIPOLOGÍA DE MUELLES EXISTENTES EN COLOMBIA (SGP, DIMAR, MINISTERIO DE T)	64
9.1.1	Principales centros portuarios del país.....	65
9.2	ESTUDIOS PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE	67
9.2.1	Topohidrografía	67
9.2.2	Vientos y régimen en Cartagena	68
9.2.3	Las mareas y niveles en Cartagena	72
9.2.4	Oleaje	72
9.2.5	Corrientes.....	73



9.2.6	Muestreo de materiales del fondo	73
9.3	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS EN CARTAGENA.....	73
9.4	REQUERIMIENTOS MORFOLÓGICOS PARA MUELLES	75
9.4.1	Área en planta:	75
9.4.2	Requerimientos en alzado:	76
9.4.3	Batimetría.....	77
9.4.4	Variaciones de las mareas y ascenso del nivel del mar.....	78
9.5	PRINCIPALES CONTAMINANTES EN LA BAHÍA DE CARTAGENA.....	79
9.5.1	Aportes del canal de dique	81
9.5.2	Aguas residuales domésticas.....	81
9.5.3	Aguas residuales industriales	82
9.5.4	Aguas de lastre	82
9.5.5	Aguas residuales agrícolas y pecuarias	82
9.5.6	Residuos de metales pesados	83
9.5.7	Presencia de hidrocarburos	83
9.6	PROTECCIÓN DEL MEDIO MARINO (dragados)	84
9.7	CONSIDERACIONES DE CARGA	85
9.7.1	Carga por arrastre de corrientes	85
9.7.2	Carga producida por el impacto de la embarcación al atracar	86
9.7.3	Cargas de viento.....	89
9.7.4	Cargas sísmicas.....	90
9.7.5	Cargas gravitacionales.	91
9.8	CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MUELLES	91
9.8.1	Demolición parcial o remoción de concretos afectados.....	92
9.8.2	Limpieza de acero corroído con wetblasting y protección con un inhibidor tipo epocem. 94	
9.8.3	Reemplazo del acero de refuerzo por pérdida de sección	95
9.8.4	Restitución de las secciones de concreto demolidas con concreto fluido de reparación y/o mortero de reparación estructural.	96
9.8.5	Limpieza del concreto con wetblasting o hidroblasting y recubrimiento de protección...96	
9.8.7	Otros Métodos.....	98



9.9	CONDICIONES QUE AFECTAN EL DRAGADO	100
9.9.1	Vientos	100
9.9.2	Mareas	101
9.9.3	Corrientes	101
9.9.4	Oleaje	102
9.9.5	Topohidrografía	102
10.	CONCLUSIONES	103
11.	RECOMENDACIONES	105
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
13.	ANEXOS	108



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 3.1	19
Ilustración 4.1	21
Ilustración 4.2.2.1.1	26
Ilustración 4.2.2.1.2	27
Ilustración 4.2.2.1.3	28
Ilustración 4.2.2.1.4	28
Ilustración 4.2.2.2.1	29
Ilustración 4.2.2.2.2	30
Ilustración 4.2.2.3	30
Ilustración 4.2.3.1	31
Ilustración 4.2.4.1	32
Ilustración 4.2.4.2	33
Dique-Muelle	33
Ilustración 4.2.3.1.	33
Ilustración 4.2.3.2	34
Ilustración 4.2.3.3	34
Ilustración 4.2.1.1	35
Ilustración 4.2.1.2	36
Ilustración 4.2.1.3	37
Ilustración 4.2.1.4	37
Ilustración 4.2.2	38
Ilustración 4.3.1	39
Ilustración 4.3.2	40
Ilustración 4.3.3	40
Ilustración 4.3.4	41



Ilustración 4.4.1	Cemento portland	42
Ilustración 4.4.2	Áridos triturados	42
Ilustración 4.4.3	Material para escolleras	43
Ilustración 4.4.4	Barras de acero para refuerzo	44
Ilustración 4.6.1	Defensas FOAM	44
Ilustración 4.6.2	Defensas de Goma	45
Ilustración 4.6.3	Defensas Neumáticas	45
Ilustración 4.6.3	Defensas Plásticas	46
Ilustración 9.1.1	Principales Centros Portuarios Del País	65
Ilustración 9.2.1.1	Topohidrografía	67
Ilustración 9.2.1.2	Topohidrografía	68
Ilustración 9.1.2.1	Escala de Beaufort.	69
Ilustración 9.1.2.2	Rosa de vientos para Cartagena en el mes de Diciembre	70
Ilustración 9.1.2.3	Rosa de vientos para Cartagena en el mes de Enero, Año 2013	70
Ilustración 9.1.2.4	Rosa de vientos para Cartagena en el mes de Febrero, Año 2013	71
Ilustración 9.1.2.5	Rosa de vientos para Cartagena en el mes de Marzo, Año 2013	71
Ilustración 9.3.1.1	Imagen satelital de la Popa	71
Ilustración 9.3.1.2	Imagen satelital de la Bahía de Cartagena	74
Ilustración 9.4.1.	Requerimientos de área en planta	74
Ilustración 9.4.2	Factores para determinar la profundidad	75
Ilustración 9.4.3	Carta náutica de la Bahía de Cartagena	76
Ilustración 9.7.1	Choque de un fluido	86
Ilustración 9.7.2.	Barco atracando	87
Ilustración 9.7.3	Choque de un fluido	90
Ilustración 9.8.1	Geometría de área a explicar	93
Ilustración 9.8.2	Limpieza y protección de acero	94
Ilustración 9.8.3	Traslapo de acero	95
Ilustración 9.8.6.1	Protectosil Cit	98
Ilustración 9.8.6.2.	Encapsulación Avanzada De Pilotes	100



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 9.1. Puertos existentes en los dos litorales del país	64
Tabla 9.1.1. Tipo de uso de la instalación portuario	66
Tabla 9.1.2. Principales puertos en Cartagena y su especialidad	66
Tabla 9.1.3. Datos del boletín meteorológico mensual del caribe, Cartagena 2013	72
Tabla 9.5. Contaminantes que afectan la calidad del agua	80



AGRADECIMIENTOS

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado la fortaleza cuando a punto de caer he estado; por ello con toda humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

A mi madre Astrid H. Gomez G., por el amor y los principios que me han dado. Por el apoyo constante en mi vida y mis estudios, y por la comprensión y paciente de saber esperar el agradecimiento de su hijo que lo ama tanto.

A mis hermanos Iván de Jesús y Luis Guillermo, por su amor y confianza, y por todos los momentos que hemos pasado juntos, sabiendo ser para mí, motivo de apoyo para seguir hacia adelante.

A mis profesores guías Jairo Alvis, Walberto Rivera y Alvaro Covo que ya está en el cielo, por su gran ayuda y comprensión en el desarrollo de esta tesis.



RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo recopilar en una guía local un conjunto de aspectos estructurales, geotécnicos, hidrodinámicos y patológicos más relevantes cuando se requiera diseñar y construir muelles en la ciudad de Cartagena de Indias, muy especialmente en interior de la Bahía.

La metodología que se usó para elaborar la guía, consistió en la búsqueda exhaustiva de información útil por medio de revisiones bibliográficas nacionales e internacionales, entrevistas a experto en diseño de muelles, visitas técnicas a entidades de control marítimo y análisis de boletines meteomárítimos emitidos por centros de investigaciones de Cartagena.

A partir de la información recopilada y las recomendaciones de la guía, fue posible diseñar un muelle comercial para cargue y descargue de contenedores con tipología estructural de pilotes y paralelo a la costa (marginal) en la Bahía de Cartagena.

Se concluye que el empleo de base informativa con consideraciones de diseño y construcción de muelles, sirve para orientar a las personas que se encuentren trabajando en este tipo de obras y a su vez evita el incurrir en equivocaciones que comprometan el propósito del proyecto.

Palabras claves:

Muelle, diseño, dragado, sismo, defensas, cargas de diseño, contaminación marítima, vertimiento, calado, oleaje, viento, mareas.



ABSTRACT

This thesis aims to collect a local guide on a set of relevant structural, geotechnical, hydrodynamic and pathological aspects when required to design and build docks in the city of Cartagena de Indias, especially in inner Bay of Cartagena.

The methodology used to develop the guide consisted of exhaustive search for useful information through national and international literature reviews, interviews with design expert docks, technical visits to institutions of maritime control and analysis of meteorological bulletins and maritime issued by research centers of Cartagena.

From the information gathered and the recommendations of the guide, it was possible to design a commercial dock for loading and unloading of containers and structural typology of piles parallel to the coast (marginal) in the Bay of Cartagena.

We conclude that the use of information base with design considerations and construction of docks, serves to guide people who are working in this type of work and in turn avoids the mistakes that compromise the purpose of the project.

Keywords:

Dock, design, dredging, seismic, defense, design loads, maritime pollution, dumping, draft, surf, wind, tides.



1. INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo desde los primeros inicios del hombre hasta hoy en día, ha sido fundamental para que el desarrollo de la civilización humana haya alcanzado el avance que actualmente conocemos. Debido a ello la construcción de muelles se convirtió en una necesidad en todos los lugares del mundo, teniendo en cuenta que a través de las aguas se mueve el mayor volumen de productos en el comercio internacional de lugares incluso muy distantes; a nivel global cerca del 80% de las exportaciones e importaciones en peso transportado se efectúan por esta vía (ZÚÑIGA, 2011).

Además de servir como una conexión entre el transporte marítimo y el terrestre, los muelles son fundamentales en puertos para que grandes y pequeñas embarcaciones atraquen a efectos de realizar tareas de carga y descarga de mercancías, personas, etc.

Uno de los puertos mayor envergadura de América, que recibe diariamente barcos de carga procedentes de todo el mundo y se ha posicionado como el cuarto puerto más importante de Latinoamérica es el de Cartagena, moviendo más de dos millones de contenedores en el 2012 y se espera que esta tendencia continúe y se intensifique cuando concluya la ampliación del Canal de Panamá, que facilitará el ingreso al Caribe de los más modernos buques portacontenedores (CONFIDENCIAL COLOMBIA, 2013).

Una ciudad tan importante como Cartagena, con el mejor crecimiento anual de ingresos tributarios en los últimos años sobre otras ciudades del país (ACOSTA, 2012), necesita que su infraestructura marítima esté al nivel de su estatus regional y le posibilite desarrollar todo su potencial industrial y turístico, lo cual solo es posible a través del flujo marítimo. Sin embargo la inexistencia de una normativa en el diseño de sus muelles propicia el poco control y mal manejo de las obras, dejando como consecuencia pobres diseños en las estructuras marítimas, que reducen su vida útil y hacen necesario constantes inversiones en mantenimiento que le permitan a los muelles operar con normalidad.



En Colombia es común encontrar muelles con problemas de deterioro en sus elementos y en la estructura como tal, a causa de consideraciones y principios no tenidas en cuenta en el diseño inicial de la obra, dejando como consecuencia altos costos de mantenimiento, pobre funcionalidad, demoras de ejecución, entre otros. Problemas que generalmente están ligados a la falta de un documento público con la información completa y necesaria para diseñar y construir muelles, disponible para el común de los constructores. Solo las grandes empresas dedicadas al diseño y construcción de este tipo de obras, cuentan con gran parte de este material necesario, pero reservan su información como estrategia comercial, ya que para ellas no es conveniente revelar detalles de sus métodos de trabajo.

Cuando no se dispone de una guía de construcción con descripciones claras y sencillas de procedimientos y técnicas utilizadas para una obra, se suelen pasar por alto algunos detalles que son importantes en el diseño preliminar y consecuentemente empiezan a aparecer problemas en el funcionamiento normal de la estructura, tal como es evidente en los muelles de Cartagena y Colombia (y tal vez del mundo).

Un ejemplo de los beneficios que derivan del establecimiento de una normativa en una región o país es posible verlo en la ASCE(American Society of Civil Engineers) a través de su manual publico *Planning and Design Guidelines for Small Craft Harbors*, que ha proveído al ingeniero civil directrices para planear, diseñar y desarrollar pequeños puertos, incluso estableciendo normas y principios que pueden servir para personas no formadas en la rama de la ingeniería. Gracias a ello el mercado de navegación en la nación americana se ha vuelto cada vez más sofisticado en su exigencia para convenientes y atractivas facilidades que no solo satisfacen las necesidades funcionales de embarcaderos en ambientes seguros, sino que también cumplen necesidades sociales y culturales para la comunidad de las marinas (ASCE,1994).

Por tal razón es necesario contar en Cartagena con una normativa para el diseño, la construcción y el mantenimiento de muelles que recopile componentes estructurales, geotécnicos, hidrodinámicos y patológicos, haciendo una revisión exhaustiva de manuales y



normas empleadas a nivel global que permita resumir la información necesaria para mejorar las condiciones de diseño local.

Si se requiere construir un muelle en Cartagena, tener a la mano un material guía que cuente con especificaciones y parámetros propios de la ciudad para la construcción de tales obras, servirá para orientar al diseñador o personas que estén trabajando en proyectos de este tipo, a fin de obtener los mejores resultados, de esta forma una buena base informativa recopilada podría traer ventajas como:

- Estructuras más seguras que perduren en el tiempo: un material de orientación ayuda a disminuir los riesgos debido a un mal diseño; es decir previene que los diseñadores incurran en equivocaciones que comprometan la vida de su proyecto.
- Disminución en costos de mantenimiento y reparaciones: la intención del dueño de una edificación es que esta continúe funcionando con las mismas características iniciales para la que fue construida, de allí que sea indispensable repararla periódicamente para su preservación. Pero a medida que un diseño empieza a alejarse de lo óptimo, los costos de mantenimiento aumentan. Por tanto en lo posible se busca una guía que ayude al diseñador a construir una obra más durable y se eviten altos costos en reparaciones.
- Disminución en los tiempos de trabajo: si se cuenta inicialmente con información recopilada de investigaciones y consultas a expertos en temas de obras marítimas que sirva como soporte para los estudios previos y durante la ejecución del proyecto, entonces se reduce parte del tiempo en el proyecto que usualmente se dedica a búsquedas de información y estudios.
- Además brindar una base investigativa a los profesionales que se desempeñen en esta área y plantear un soporte académico a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena que sirva a las próximas generaciones de ingenieros para desarrollar proyectos relacionados con la construcción de muelles.

En fin conociendo la importancia del transporte marítimo en la actualidad, y la construcción de muelles que está ligada a esta actividad, el diseño de infraestructuras marítimas de Cartagena



debe estar organizado en una normativa que contenga los procedimientos para construir estas obras, teniendo en cuenta que es una ciudad con mucho potencial marítimo aún por explotar si se contemplan muchos proyectos nacionales y externos que ha futuro vincularan a la ciudad en un rol importante, tales como la ampliación del canal de panamá y tratados comerciales de Colombia con otros países. Esto supone un reto en su economía, y para estar a la vanguardia de las grandes ciudades del mundo debe prepararse desde ahora.

Por tal razón este proyecto está fundamentado en recopilar información, normas, principios y consideraciones de ingeniería para diseñar y construir muelles de la mejor manera posible, lo cual será un grano de arena a aportar al desarrollo de la infraestructura marítima de la ciudad.



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una guía local para la construcción, diseño y mantenimiento de muelles que resuma aspectos estructurales, geotécnicos, hidrodinámicos y patológicos, a través de la recopilación de información técnica, manuales y normas empleadas a nivel global, de manera que pueda servir para mejorar los procedimientos y condiciones de construcción y operación de los muelles en la ciudad de Cartagena.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar y analizar guías y normas tenidas en cuenta para el diseño de muelles en diferentes sectores nacionales e internacionales.
- Analizar la influencia que tiene la ubicación geográfica y las características físicas del entorno en las especificaciones técnicas para el diseño de un muelle en Cartagena.
- Determinar las ventajas y limitaciones presentes en la construcción de un muelle en distintas zonas de la ciudad.
- Investigar sobre nuevas tecnologías en construcción de puertos en el mundo y plantear si existe alguna posibilidad de implementarlas en Cartagena.
- Plantear consideraciones técnicas en el diseño de un muelle en la ciudad según el uso que se le dé a la estructura.
- Evaluar los riesgos y efectos ocasionados en las estructuras marítimas por las fuerzas de viento, sismo, oleaje, mareas, acciones laterales de embarcaciones y otros.
- Evaluar los impactos medioambientales producidos por el desarrollo de la actividad marítima y portuaria en Cartagena.
- Proponer criterios que promuevan el correcto diseño, construcción y mantenimiento de los recursos costeros y marinos.
-



3. ALCANCE

3.1 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio de este proyecto enmarca a los cuerpos de agua de Cartagena, dentro de los cuales destacamos la bahía de Cartagena como área principal de investigación, la cual comprende sectores como: Zona franca o zona industrial, bahía de las Ánimas y algunos caños internos.

Además se hará mención a la zona costera comprendida por todo el litoral en contacto directo con las agua del Mar Caribe. Aunque no sea común construir muelles en esta franja de terreno, este proyecto evaluará posibilidades de llevar a cabo obras marítimas en algunos sitios de la misma.

Ilustración 3.1 Cartagena de Indias



Fuente: CIOH



3.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

La investigación fue llevada a cabo entre el segundo período académico del año 2013 y principios del primer periodo académico del año 2014, realizando las últimas consultas en el mes de Abril del mismo año.

Aunque las investigaciones fueron extensas, ultimando detalles en cada uno de los componentes del proyecto, al autor selecciono la información más valiosa que le permitiera poder cumplir con los objetivos de la investigación.

3.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El resultado final del presente trabajo, consiste en un sumario con consideraciones y recomendaciones técnicas y ambientales, fundamentales para el diseño y construcción de muelles marítimos en Cartagena, muy especialmente en la Bahía. El proyecto además comprende el diseño de un muelle de contenedores en el interior de la Bahía, con el cual se aplica a modo de ejemplo, la metodología de diseño propuesta.



4 MARCO TEÓRICO

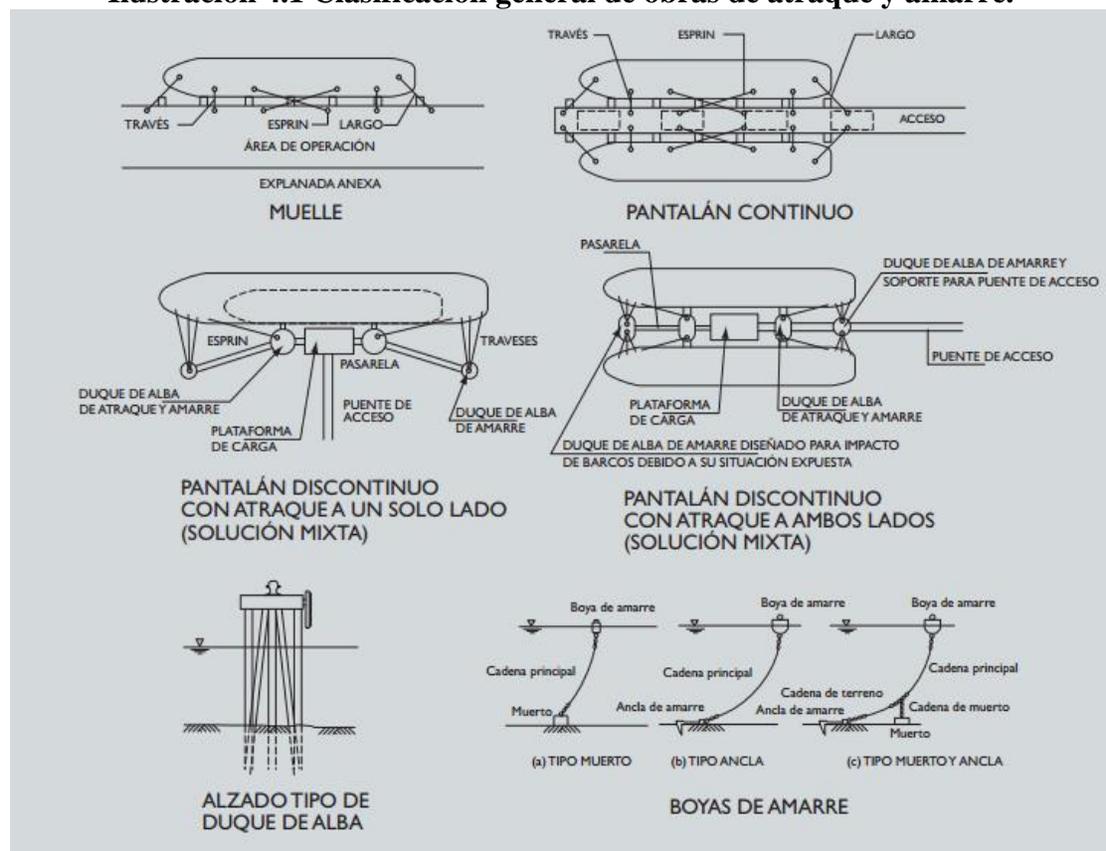
4.1 OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE

Una obra de atraque y amarre se define como aquella que cumple una o más de las siguientes funciones:

- Establecer una zona de contacto entre embarcación y tierra.
- Crear un área superficial que permita el paso de mercancía entre tierra y mar.
- Crear una zona terminal para el almacenamiento de mercancías de los sistemas terrestre y marítimo.

Dentro de las obras de atraque y amarre se distinguen cuatro principales:

Ilustración 4.1 Clasificación general de obras de atraque y amarre.



Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre



Muelles

Son estructuras fijas que conforman una línea de atraque continua, que en general rebasa en longitud de la embarcación amarrada, y que están conectadas con tierra total o parcialmente mediante rellenos a lo largo de la parte posterior de las mismas, dando lugar a la creación de explanadas traseras adosadas. (AGUIRRE, 2005).

Plataformas y pantalanes

Son estructuras de atraque y amarre fijas o flotantes con áreas que sirven como vía para el trasvase de mercancía. El tránsito de la mercancía puede ser en una o dos direcciones, para pantalanes es lineal y en plataformas es bidimensional. (CHAPAPRIA, 2004).

Duques de alba

Son estructuras aisladas y separadas de la costa que se utilizan como puntos de atraque, de amarre, de ayuda a las maniobras de atraque, así como de varias de estas tres funciones simultáneamente. Generalmente se construyen a través de uno o varios pilotes hincados. (CHAPAPRIA, 2004).

Estructuras flotantes

Son estructuras a las cuales se amarra la embarcación y permite la carga y descarga de gráneles, cuya posibilidad de movimientos se encuentra limitada por una cadena amarrada a un ancla, a un muerto o a ambas cosas. (CHAPAPRIA, 2004).

4.2 CLASIFICACIÓN DE MUELLES

Los muelles generalmente se clasifican mediante dos criterios: el primero tiene en cuenta la funcionalidad de la obra y el segundo, se basa en la configuración estructural de sus elementos.



4.2.1 Clasificación funcional.

Esta clasificación está basada según el tipo de mercancía o personas que se embarca o manipula. Estos pueden ser comerciales, náutico-deportivos, pesqueros, industrial, militar.

4.2.1.1 Comerciales

Son destinados al comercio de mercancías y cuentan con una infraestructura logística y mercantil para distribuirlos a las zonas de consumo, estos pueden ser:

- A) Graneles líquidos: son manejados mediante instalaciones especiales de gran rapidez se dividen en:
 - Productos petrolíferos y químicos
 - Gases licuados
 - Otros: abonos, agua, aceites
- B) Graneles sólidos: el trasvase de mercancía se realiza mediante una serie de escotillas dispuestas a través del buque.
 - Con instalación especial
 - Sin instalación especial
- C) Mercancía general
 - Carga convencional
 - Contenedores: Es el medio de transporte más utilizado en la actualidad, gracias a la forma del depósito.
 - Ro-ro: Las operaciones de carga y descarga se realizan a través de rodantes.
 - Ferris: Pasajeros y mercancía rodante
 - Multipropósito: Cuando no se asigna un atraque específico a cada tipo de mercancía.
- D) Pasajeros
 - Ferris
 - Cruceros y otras embarcaciones.



4.2.1.2 Pesqueros.

Estos albergan buques y particularmente pequeñas embarcaciones que descargan mercancías perecederas, especialmente pescado.

4.2.1.3 Náutico-deportivo.

Los muelles para uso náutico-deportivo albergan yates, megayates u otro tipo de embarcaciones de tipo recreativo durante estancias más o menos prolongadas.

4.2.1.4 Industriales

Estos muelles están orientados a la construcción y reparación de buques o de otros elementos. Suelen contar con grandes grúas, diques secos o diversas zonas de botadura para buques de distinto tamaño. (GONZALES, 2006).

4.2.1.5 Militares

Las obras de atraque de uso militar están destinadas a un conjunto amplio de funciones relacionadas al embarque y desembarque de pasajeros y vehículos, asimismo operaciones de reparación, aprovisionamiento y municionamiento, todo ello a través de la eslora del buque. (GONZALES, 2006).

4.2.2 Clasificación según su tipología estructural

4.2.2.1 Partes y elementos de un muelle

Los muelles pueden dividirse en elementos o partes a los efectos de sistematizar su clasificación tipológica y establecer elementos de comparación entre tipologías. Con carácter general podrán definirse las siguientes partes:

Para efectos de clasificar a los muelles según su tipología estructural, es necesario definir partes y elementos que los conforman, entre ellos están:



- A) *Cimentación*: Es el conjunto de elementos estructurales que se encarga de transmitir las cargas de la estructura al suelo.
- B) *Estructura*: Es la parte de un muelle destinada a conservar la forma del mismo, frente a las fuerzas actuantes que son transmitidas a través de esta a la cimentación.
- C) *Superestructura*: esta parte del muelle ofrece una línea de atraque continua y permite la transmisión y distribución de las cargas de uso y explotación sobre la estructura resistente.
- D) *Relleno*: Es un material de ayuda que se coloca en el trasdós de la estructura para crear una explanada adosada al mismo.
- E) *Elementos de uso y explotación*: Son elementos auxiliares fundamentales para el uso y explotación de un muelle, teniendo en cuenta las exigencias operativas. Los más importantes son los siguientes:
- *Vigas carriles*: Son elementos estructurales sobre los que ruedan equipos destinados a la manipulación y operación de cargas, que no hacen parte de la superestructura del muelle.
 - *Defensas*: son elementos flexibles situados generalmente en la superestructura que ayudan a amortiguar y reducir las fuerzas dinámicas de la embarcación al muelle.
 - *Puntos de amarre*: son elementos situados sobre la superestructura que limitan los movimientos del buque producidos por el oleaje, el viento y otros durante su permanencia en el muelle. Las acciones son transmitidas a través de estos directamente a la superestructura.
 - *Rampa ro-ro*: es un plano inclinado fijo o móvil que permite la carga y descarga por medios rodantes en los buques, disminuyendo la pendiente entre el buque y el muelle a un valor asequible.
 - *Galerías/Canaletas*: Son aligeramientos cerrados o abiertos instalados en la superestructura para recibir redes de abastecimiento de agua, electricidad, comunicaciones, contraincendios, etc.
 - *Pavimento*: Es la capa horizontal de rodadura, que soporta el paso de vehículos y otros medios rodantes. (GONZALES, 2006).



Esta clasificación se basa en el comportamiento estructural de los muelles, teniendo en cuenta la forma en como resisten las acciones y como se transmiten los esfuerzos al terreno. Se ordenan en tres grandes grupos cerrados, abiertos y flotantes:

4.2.2.2 Cerrados.

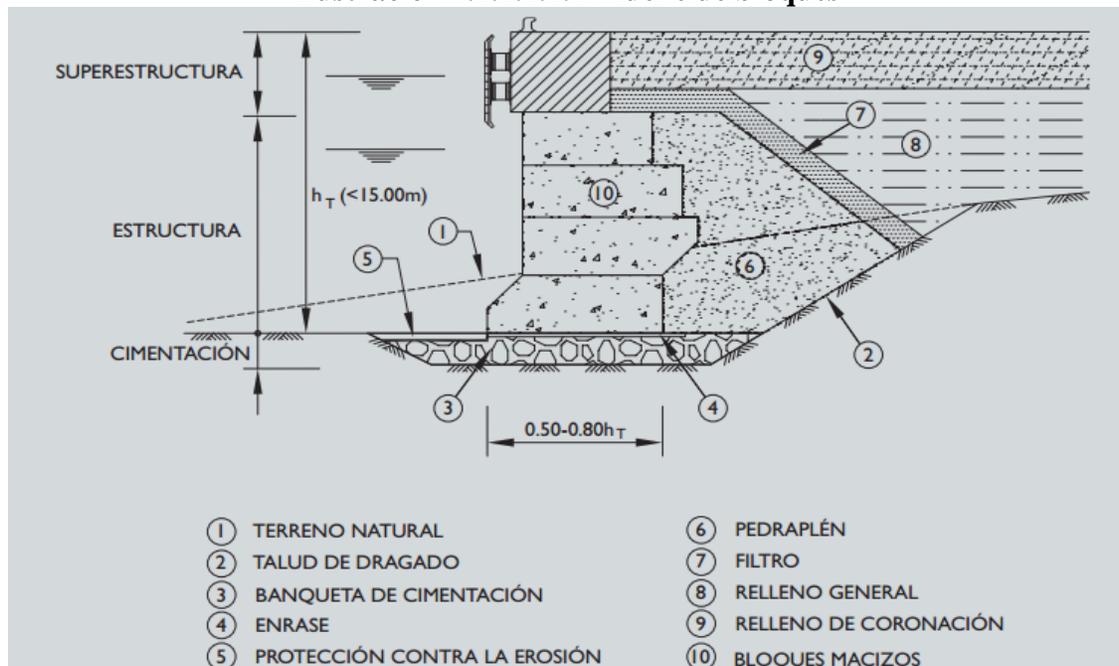
Estas estructuras están formadas por un paramento vertical o cuasi vertical desde la línea de atraque a la cimentación que no permite el flujo de agua a través de ella en su totalidad o parcialmente. Se dividen en:

4.2.2.2.1 De gravedad.

Resisten las acciones gracias a su peso propio, que a su vez otorga una mayor la resistencia por rozamiento en el contacto estructura-cimiento para aumentar la resistencia al deslizamiento. Estas a su vez se dividen en:

- A) De bloques: Está formado por una estructura de bloques pétreos o prefabricados de hormigón, que pueden ser macizos o huecos y se rellenan generalmente con material granular (Ministerio de fomento Español, 2011).

Ilustración 4.2.2.2.1.1 Muelle de bloques

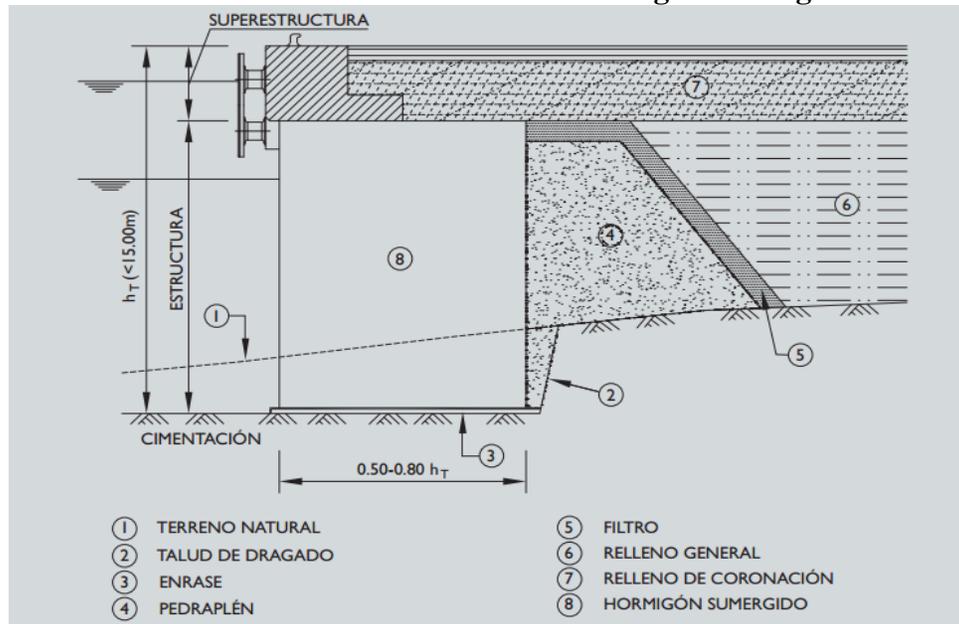


Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre



- B) De hormigón sumergido: Estos muelles son construidos casi en su tota bajo el agua, a través del bombeo de hormigón mediante una tubería en la zona a hormigonar

Ilustración 4.2.2.1.2. Muelle de hormigón sumergido

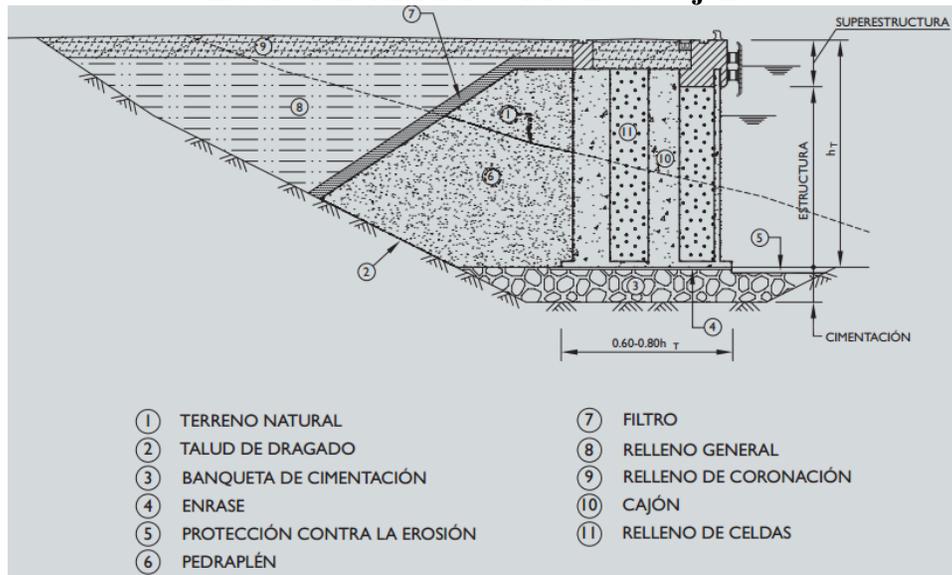


Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre

- C) De cajones: Se construyen en su mayoría mediante cajones prefabricados en hormigón armado con celdas interiores que aligeran su peso. Posterior a su construcción son fondeados y llenados con agua, material granular o concreto pobre (MINISTERIO DE FOMENTO ESPAÑOL, 2011).



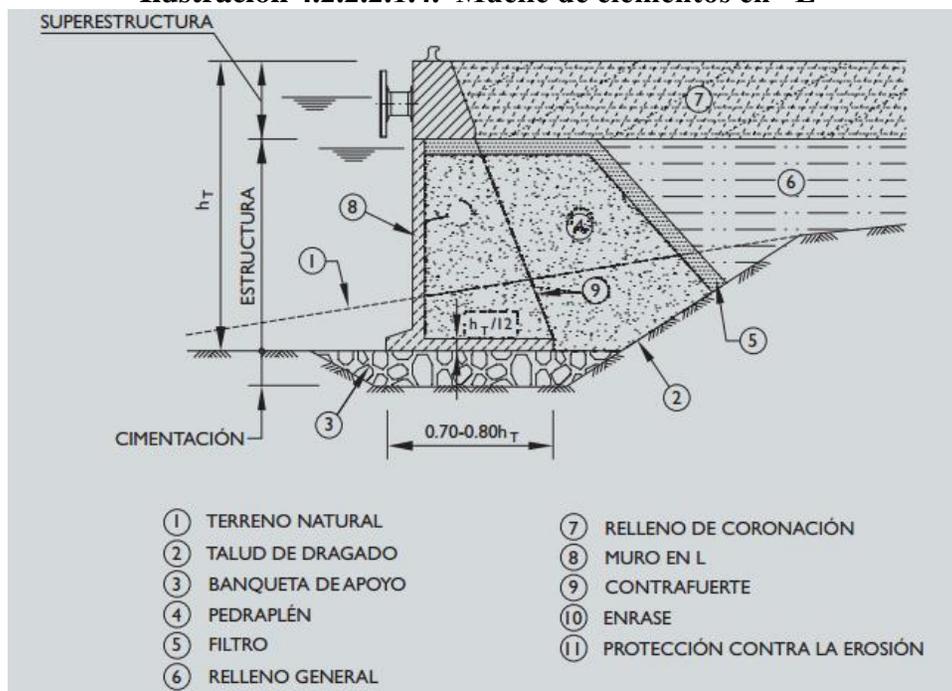
Ilustración 4.2.2.2.1.3. Muelle de cajones



Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre

D) Muros en L: El funcionamiento de estos muelles es similar al de los muros de contención. Habitualmente el elemento en “L” se construye “in situ”.

Ilustración 4.2.2.2.1.4. Muelle de elementos en “L”



Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre

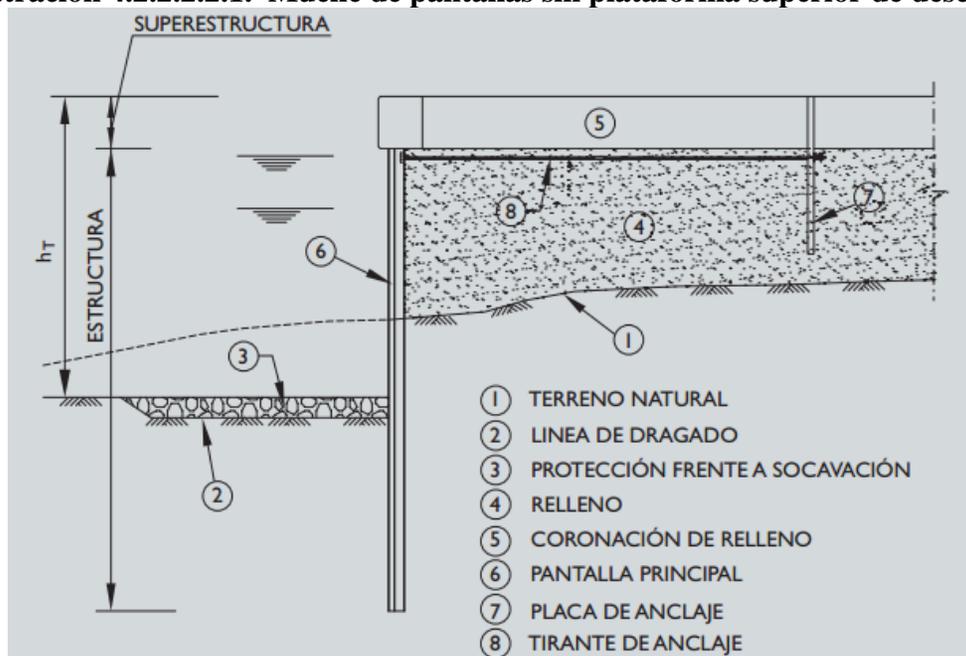


4.2.2.2.2 De pantalla

Estas estructuras están formadas por pantallas mediante tablestacas hincadas y empotradas al terreno, las cuales transmiten las acciones horizontales al terreno y permiten el equilibrio gracias al relleno en ambos lados. Se dividen en:

- A) De pantallas sin plataforma superior de descarga: Se constituye por una pantalla vertical con anclajes que aumentan su capacidad resistente y rigidez.

Ilustración 4.2.2.2.1. Muelle de pantallas sin plataforma superior de descarga

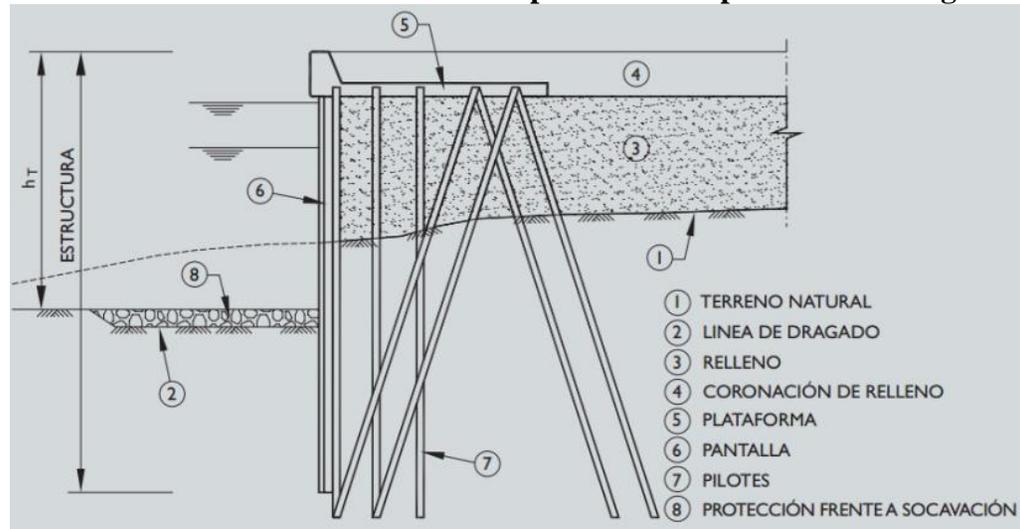


Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre

- B) De pantallas con plataforma superior de descarga: la estructura es la misma que la anterior, pero con la incorporación de una pantalla que transmite las cargas directamente a la cimentación. (MARTÍNEZ, 2008).



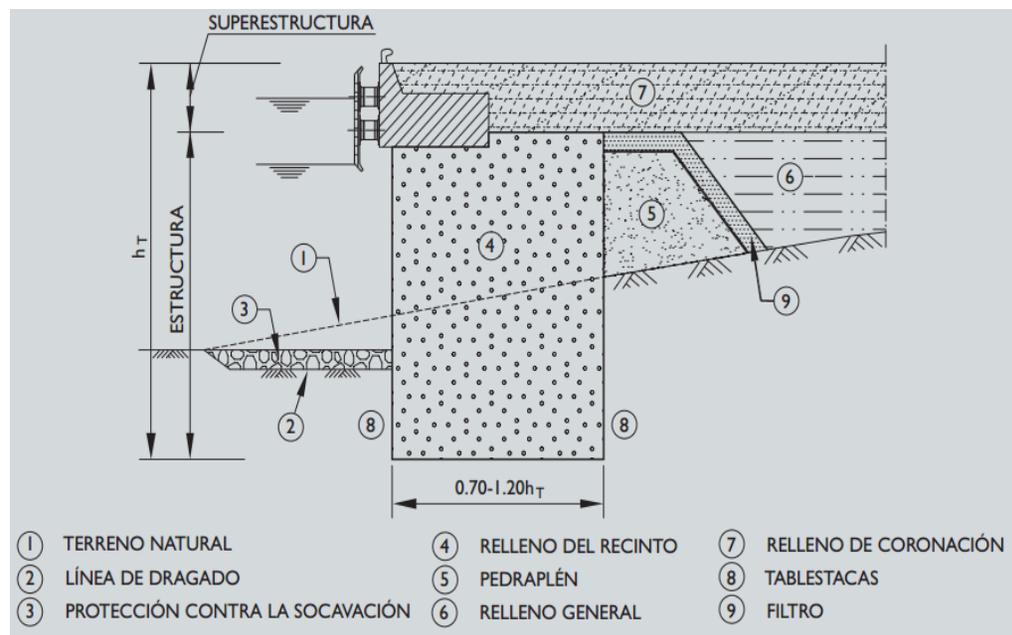
Ilustración 4.2.2.2.2. Muelle con plataforma superior de descarga



Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre

4.2.2.2.3 Recintos de tablestacas

Ilustración 4.2.2.2.3. Muelle de recintos de tablestacas



Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre



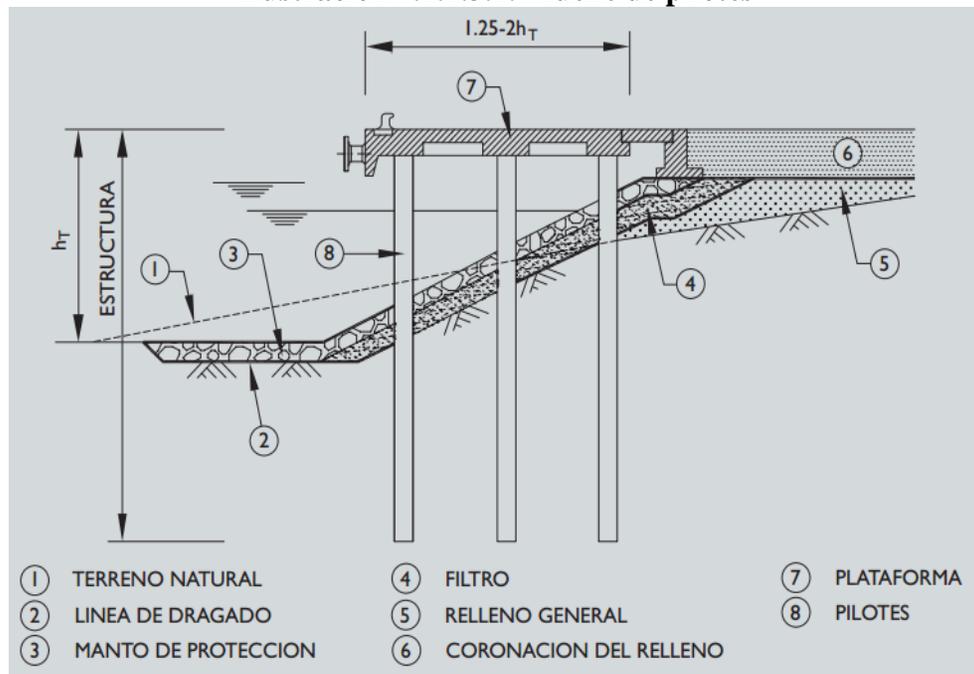
La estructura resistente está formada por una fila de recintos formados por tablestacas metálicas, conectados entre sí, los cuales se pueden construir con varias configuraciones geométricas. (CHAPAPRIA, 2004).

4.2.2.3 Abiertos

Son aquéllos en las que la estructura está formada por una plataforma sustentada en pilotes o pilas, siendo el paramento que conforma la línea de atraque no continuo, permitiendo el paso del flujo del agua. Estos pueden ser:

4.2.2.3.1 De pilotes

Ilustración 4.2.2.3.1. Muelle de pilotes



Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre

La estructura resistente está formada por una plataforma soportada por un conjunto de pilotes verticales y/o inclinados y, en el caso de que exista un relleno adosado, puede complementarse con una estructura de contención de tierras y de unión con la plataforma en la coronación del talud. Algunas veces se establece un anclaje a la plataforma con el fin de mejorar su resistencia a las fuerzas horizontales. (MINISTERIO DE FOMENTO ESPAÑOL, 2011).



4.2.2.3.2. De pilas

A diferencia de la de pilotes, la estructura en estos muelles se compone de una plataforma apoyada en pilas, generalmente constituidas por estructuras de gravedad.

4.2.2.3.3. Otros

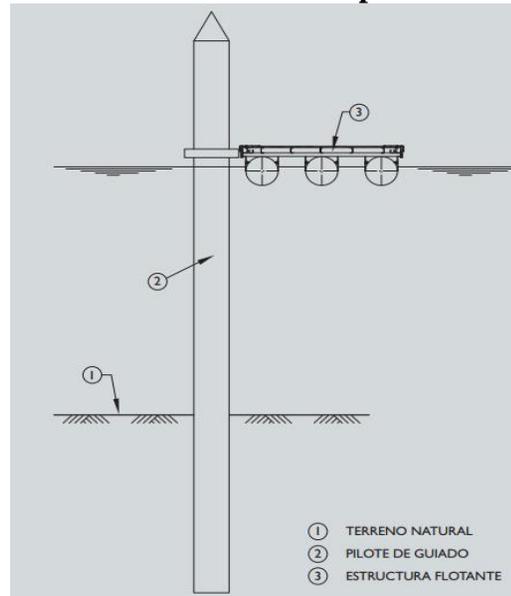
Otros tipos de muelles se rigidizan a través de estructuras metálicas en el plano horizontal de elementos en celosía que se apoyan en el fondo mediante pilotes hincados (celosías espaciales o jackets).

4.2.2.4 Flotantes

Los muelles flotantes son aquéllos en los que la parte estructural se encuentra flotando, con la posibilidad de realizar movimientos verticales y/o horizontales. Estos pueden ser:

4.2.2.4.1 Pontonas o pantalanés

Ilustración 4.2.2.4.1. Muelle de pantalanés



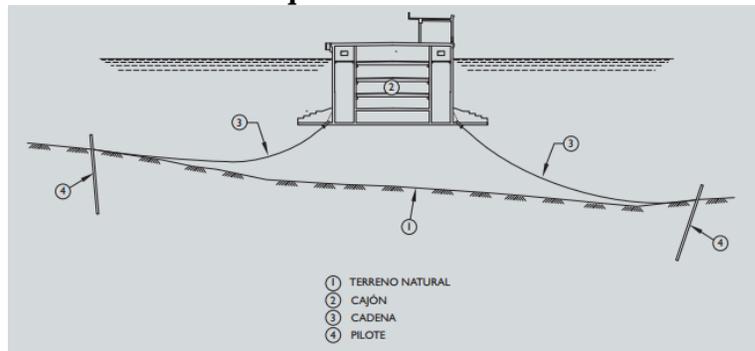
Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre

Las pontonas son obras de atraque y amarre para cargas de uso y explotación relacionadas con el atraque y amarre de embarcaciones deportivas o de recreo, de pesca, plataformas auxiliares para la carga y descarga de vehículos o tráfico ro-ro, etc. (CHAPAPRIA, 2004).



4.2.2.4.2 Cajones

Ilustración 4.2.2.4.2 Ejemplo de obra de atraque y amarre flotante de cajón dique-muelle



Fuente: Tipos y Funciones de Obras de Atraque y Amarre

Generalmente están contruidos de hormigón armado, pretensado y se limitan los movimientos horizontales a través de sistemas de amarre contruidos por varias líneas de amarre compuestas por elementos flexibles más o menos pretensionados, anclados al terreno, o bien mediante sistemas mixtos de amarre y apoyo en tierra mediante dispositivos articulados especiales. Un ejemplo de este tipo de estructuras es el dique-muelle de La Condamine en Mónaco. (MINISTERIO DE FOMENTO ESPAÑOL, 2011).

4.2.3 Clasificación según su orientación o forma

4.2.3.1 Muelle marginal

Ilustración 4.2.3.1. Muelle marginal



Fuente: Puerto Buenavista, Cartagena, España.



Un muelle marginal, por otra parte, es una estructura orientada aproximadamente paralela a la costa, y se le denomina también malecón. Generalmente la plataforma o cubierta está unida y apoyada en tierra.

4.2.3.2 Muelle en espigón

Ilustración 4.2.3.2 Muelle en espigón

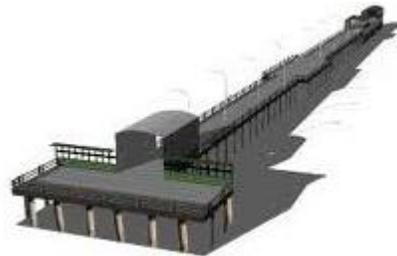


Fuente: Puerto de Paita, Desarrollo peruano.

Un muelle de espigón es una estructura que sale de la tierra al mar en dirección perpendicular o con ligera inclinación respecto a la orilla de la playa, con paramentos de atraque en ambos lados.

4.2.3.3 Muelle tipo “T”

Ilustración 4.2.3.3 Muelle en “T”



Fuente: Puerto de Paita, Desarrollo peruano.

Es una estructura conectada a tierra por un acceso perpendicular a la línea de costa. Se emplean mucho en los puertos náutico-deportivos, en donde la demanda de espacio para el atraque y amarre de embarcaciones es grande.



4.2.3.4 Muelle tipo isla

Este tipo de muelle está separado de la playa. Generalmente se construyen en zonas donde se necesitan grandes calados para las embarcaciones.

4.3 DETERIORO DEL CONCRETO ARMADO

El concreto armado puede sufrir, durante su vida, daños o defectos que alteran su estructura interna y comportamiento. Estos daños pueden ser químicos o físicos.

4.3.1 Daños debidos a ataques químicos

Es importante notar que, desde un punto de vista químico, el hormigón es alcalino por naturaleza. Por lo tanto, es particularmente vulnerable al ataque por sustancias ácidas del entorno o a las que esté expuesto en su vida útil. (SANCHEZ, 2002).

4.3.1.1 Ataque por cloruros

Ilustración 4.3.1.1 Ataque por cloruros en el hormigón



Fuente: Deterioro y Reparación del Hormigón

Es una causa muy común en el deterioro del concreto, generalmente en condiciones de contacto directo con el ambiente marino en donde los cloruros pueden penetrar en el hormigón hasta la armadura. Con la presencia del oxígeno, además de la suficiente cantidad de iones cloruros disueltos en el agua de los poros del hormigón, se puede instigar la corrosión de la



armadura, incluso en condiciones de alcalinidad alta. En estas circunstancias se pueden producir roturas y puntos débiles en la fina capa pasivante de óxido de la superficie del acero, debido a la formación de sales hidrocclorídricas (SÁNCHEZ, 2002).

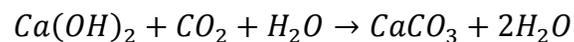
4.3.1.2 Carbonatación

Ilustración 4.3.1.2 Carbonatación en el hormigón



Fuente: Deterioro y Reparación del Hormigón

La segunda causa más común de deterioro debido a ataque químico es el fenómeno natural de la carbonatación. El hormigón está casi siempre en contacto con el aire, y por lo tanto, dependiendo de la localización de la estructura, expuesto a menores o mayores niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. (BERNAL, 2005). En el hormigón elaborado con cemento Portland ordinario, la portlandita está presente en cantidades relativamente altas (40 a 50%). La cal libre del hormigón es vulnerable a la reacción con el dióxido de carbono del aire que se disuelve en el agua de los poros del hormigón, creando carbonato cálcico siguiendo la siguiente reacción:



4.3.1.3 Ataque por sulfatos



Ilustración 4.3.1.3 Ataque por sulfatos en el hormigón



Fuente: Deterioro y reparación del hormigón

Los sulfatos están siempre presentes en el cemento y forman la etringita durante las primeras etapas. Los daños en el hormigón por reacciones con sulfatos surgen cuando sulfatos adicionales penetran en el hormigón o cuando hay adición posterior de sulfatos. Este fenómeno se denomina formación diferida de etringita o etringita secundaria. Ocurre de una manera heterogénea y muy posterior (después de meses o incluso años). Estas reacciones expansivas pueden producir también fisuración, desprendimientos del hormigón y pérdida de resistencia, puesto que ocurren cuando el hormigón ya está endurecido y es un cuerpo rígido. (GALLEGO, 2010).

4.3.1.4 Reacción álcali-árido (ASR)

Ilustración 4.3.1.4 ASR en el hormigón



Fuente: Deterioro y Reparación del Hormigón



Esta es una reacción de los áridos silíceos reactivos con los constituyentes alcalinos del hormigón, en presencia de agua. Primero, los álcalis que provienen principalmente del cemento, migran hacia la solución acuosa de los poros y entran en contacto con los áridos reactivos, formando un gel silíceo alcalino, luego este gel silíceo reacciona con la cal libre presente en el hormigón, para formar un nuevo tipo de gel que puede absorber una gran cantidad de agua, y por lo tanto tiene unas grandes propiedades de hinchamiento. Este efecto de hinchamiento genera fuerzas de expansión en el hormigón endurecido. Los modelos típicos de daño por ASR aparecen en forma de una superficie fisurada superficialmente con formas caprichosas. (BERNAL, 2005).

4.3.2 Deterioro debido a causas físicas

Ilustración 4.3.2 Daños físicos en el hormigón



Fuente: Deterioro y Reparación del Hormigón

El hormigón se elabora con cemento, áridos y agua. Sus propiedades de endurecimiento se deben a las capacidades hidráulicas del cemento. Por lo tanto, es natural que el hormigón endurecido esté influenciado por la presencia o acción del agua (libre o ligada) en su propia estructura, así como por su interacción con fuentes externas de agua.

4.3.2.1 Retracción

La retracción es un fenómeno físico-químico que siempre ocurre en los materiales cementosos, y comienza a una edad temprana y continúa gradualmente hasta las últimas fases del



endurecimiento, durante largo tiempo. El principal efecto visual debido a la retracción es la formación de fisuras. Estas fisuras pueden aparecer, o muy pronto después de haber vertido el hormigón o después de varios días, semanas o meses, debido al comportamiento a largo plazo de la retracción. (SÁNCHEZ, 2002).

4.3.2.2 Ciclos hielo-deshielo

Este deterioro ocurre principalmente en países o zonas sujetas a condiciones de invierno extremas y los daños se pueden acentuar por la presencia de sales de deshielo, usadas en puentes, por ejemplo, para reducir la formación de hielo en las carreteras.

Los principales síntomas de estos daños son el desprendimiento de trozos de hormigón y un aparente hinchamiento de otras partes de la estructura, junto con formación de fisuración superficial. Cuando esto se produzca de una manera extrema, la estructura puede ser casi destruida. (GALLEGO, 2010).

4.4 OBRAS DE ABRIGO (DIQUES)

Los diques son estructuras artificiales formadas por capas de materiales de diferentes granulometrías destinadas a reducir la cantidad de energía proveniente del oleaje para abrigar una zona en el mar. Estos pueden ser de diferentes tipos:

4.4.1 Dique en talud

Ilustración 4.4.1 Dique en talud



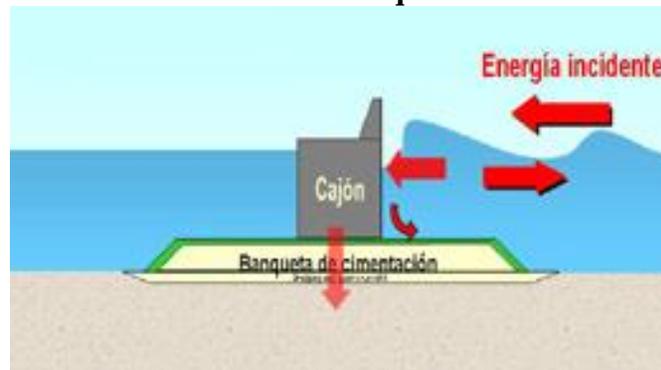
Fuente: Ingeniería portuaria



Es la obra marítima de abrigo portuaria por excelencia, 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. (CHAPAPRIA, 2004).

4.4.2 Dique Vertical

Ilustración 4.4.2 Dique vertical

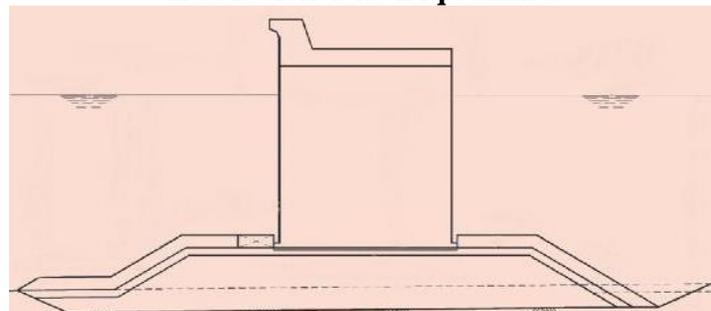


Fuente: Ingeniería portuaria

Los diques verticales están formados por cajones de hormigón armado que se trasladan flotando al lugar de fondeo y se hunden, para después rellenarlos con áridos, de forma que constituyan una estructura rígida. Este dique tiene la ventaja de requerir menos material para una profundidad determinada, pero concentran mayor peso en un área menor, por lo tanto el terreno debe ser resistente. (IRIBARREN, Nogales. et al; 1954)

4.4.3 Dique mixto

Ilustración 4.4.3 Dique mixto



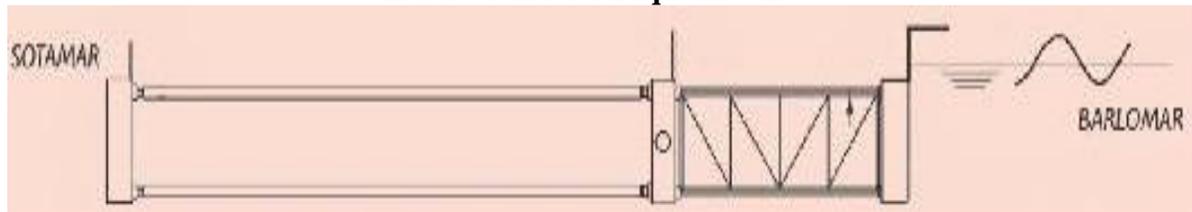
Fuente: Curso de obras marítimas



Cuando la cimentación del dique vertical ocupa una proporción notable de la profundidad tal que su presencia modifica significativamente la cinemática y dinámica de las oscilaciones del mar, la tipología se denomina dique mixto. (PESTAÑA, 2013).

4.4.4 Dique flotante

Ilustración 4.4.4 Dique flotante



Fuente: Curso de obras marítimas

La sección tipo de un dique flotante, suele estar formada por un cuerpo central flotante habitualmente paralelepípedo de altura. La profundidad de flotación y el francobordo del estado de carga del flotador, satisfaciendo la relación que, depende la fijación del cuerpo central se puede obtener mediante cadenas ancladas al fondo y a muertos de hormigón en masa o a otras estructuras fijas, o arriostradas a pilotes hincados en el fondo mediante elementos que, en este caso, facilitan el deslizamiento vertical a lo largo de ellos, pero que impiden los desplazamientos horizontales y los giros del flotador. (PESTAÑA, 2013).

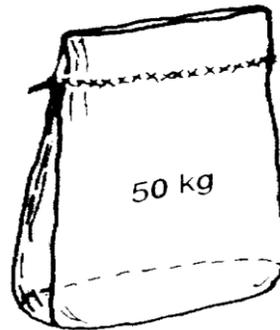
4.5 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE MUELLES

Los materiales de construcción básicos que se requieren para obras en el mar consisten en cemento, áridos, acero para armaduras, escollera, pilones de madera o de acero, abrazaderas, viguetas o secciones de madera y otros elementos menores.

4.5.1 Cemento



Ilustración 4.5.1 Cemento portland.



Fuente: Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros

Es un polvo gris verdoso que se endurece a las pocas horas de ponerse en contacto con agua y que por lo tanto adquiere una mayor resistencia con el tiempo. Hay muchos tipos de cementos disponibles en el mercado y el tipo más común se conoce como cemento común de Portland. Sin embargo, el tipo más adecuado de cemento para trabajo marítimo es el cemento resistente al sulfato. El cemento normalmente viene en bolsas de papel de 50 kg. (FAO, 1996).

4.5.2 Áridos triturados

Ilustración 4.5.2 Áridos triturados.



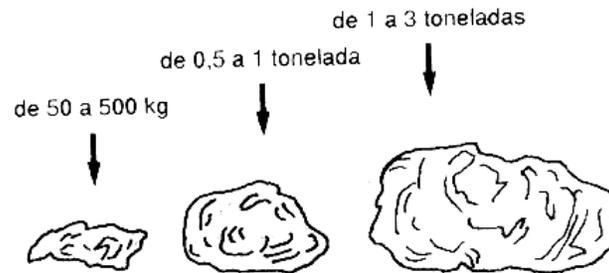
Fuente: Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros

Tienen una forma angular, mientras que la gravilla de río o de playa es redondeada. Los áridos obtenidos del mar contendrán sal que es nociva para el hormigón, por lo que se deben lavar repetidamente antes de poder utilizarlos en la fabricación de hormigón. Los áridos de coral sólo se deberán utilizar en última instancia y aún en ese caso sólo si las condiciones medioambientales permiten la recogida de coral vivo. (FAO, 1996).



4.5.3 Escollera

Ilustración 4.5.3 Material para escolleras



1 000 kg = 1 tonelada

Fuente: Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros

La fuente más fiable de escollera para la construcción es una cantera. De la cantera normalmente se obtiene una gama completa de tamaños de piedras, y la obtención de las piezas, del tamaño adecuado depende mucho de la experiencia de la persona que realiza la colocación de explosivos, así como del grado de homogeneidad geológica del terreno. Al igual que con los áridos, la durabilidad depende de la dureza de la piedra.

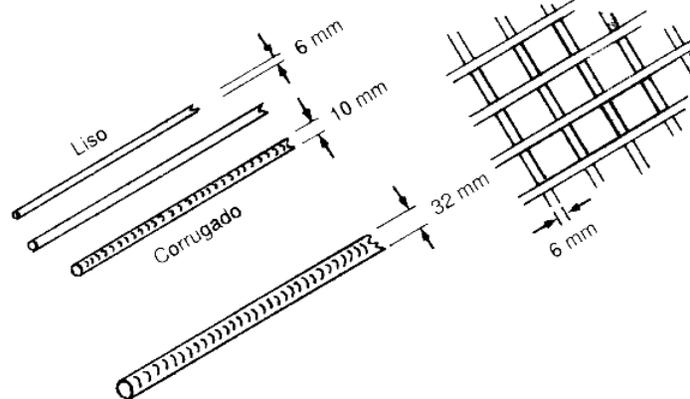
4.5.4 La armadura

Se utiliza dentro de una sección de hormigón para optimizar la resistencia del hormigón. En el trabajo marítimo, el acero deberá tener una cubierta mínima de 50 mm de hormigón, a fin de impedir su corrosión por el agua del mar.

Las barras de acero suelen venir en una variedad de diámetros, que van desde un mínimo de 6 mm y hasta 32 mm.



Ilustración 4.5.4 Barras de acero para refuerzo



Fuente: Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros

4.6 DEFENSAS

Las defensas son parte importante de un muelle pues tienen por objetivo evitar el impacto directo de las embarcaciones que se originan por maniobras de atraque, por acción del viento y las corrientes sobre la embarcación. Estas fuerzas son de tal magnitud que se hace necesario instalar un sistema de defensa para controlarlas, amortiguarlas y reducir las para lograr una protección efectiva tanto para la estructura civil como para las embarcaciones. Dentro de los tipos más comunes de defensas tenemos:

4.6.1 Defensas FOAM

Ilustración 4.6.1 Defensas FOAM



Fuente: SPRC



Este tipo de defensa cuenta con un rendimiento flotante que posibilita posicionarla a nivel del mar en una estructura sólida y panel de reacción. Adicionalmente, cuenta con gran facilidad para su instalación. Aplica para muelles que cuenta con pronunciadas diferencias de marea, para emergencias o para muelles pequeños.

4.6.2 Defensas de goma

Ilustración 4.6.2 Defensas de goma



Fuente: QFRFC

Las defensas de caucho absorben energías y vibraciones de forma que no se origina daño ni para el barco, ni para el puerto, protegiendo al mismo tiempo a ambos en las variaciones que se produzcan (mareas, vientos, carga y descarga) durante el tiempo de atraque. 2

4.6.3 Defensas neumáticas.

Ilustración 4.6.3 Defensas NEUMÁTICAS



Fuente: QFRFC



Este tipo de defensas cuentan con una alta energía de absorción y una baja fuerza de reacción y presión de superficie. No disminuye el porcentaje de absorción de energía bajo ningún tipo de carga en cualquier área de contacto. La baja fuerza de reacción evita daños en la defensa por reiteradas colisiones. Es una defensa flotante, ideal para cualquier tipo de marea. Además, esta defensa es fácil de desplegar y resiste bajas temperaturas. 2

4.6.3 Defensas plásticas

Ilustración 4.6.3 Defensas plásticas



Fuente: QFRFC

Las cualidades de las defensas plásticas son alta fuerza, a prueba de erosión, a prueba de envejecimiento, tiempo largo de servicio y fácil para su instalación. Este tipo de defensas se fabrica con resina de polietileno (o polipropileno), resina reciclada del polietileno (o polipropileno), aditivos de proceso y antideteriorante.



5. ANTECEDENTES

En el año 1994, la American Society of Civil Engineers (ASCE) publicó manuales e informes acerca del desarrollo de pequeñas embarcaciones en su ejemplar “Planning and Design Guidelines for Small Craft Harbors”, desde entonces la demanda de acceso a los océanos, lagos y ríos ha crecido sostenidamente, logrando así un avance significativo en las marinas de EEUU. En su última publicación en el manual número cincuenta, resultado de un comité técnico seleccionado para reunir y transmitir información del tema, la ASCE ha proporcionado las directrices a la ingeniería civil para la planificación, el diseño y el desarrollo de los puertos pequeños, abarcando normas que incluso pueden servir a las personas no formadas en el entorno de la ingeniería. Gracias a ello el mercado de la navegación en la nación norteamericana se ha vuelto cada vez más sofisticada y atractiva debido a que no solo atiende a las necesidades funcionales de los embarcaderos en ambientes seguros, sino que también cumple con las necesidades sociales y culturales de la comunidad marina. He aquí entonces una prueba de los grandes beneficios que obtiene en un campo de estudio cuando se cuenta con una guía de orientación.

A nivel internacional la FAO (Food and Agriculture Organization) elaboró una normativa para el diseño, construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos de buques pesqueros y pequeñas embarcaciones, el cual contiene aspectos como un buen emplazamiento que permita una protección considerable del muelle a las tormentas marinas, una profundidad adecuada que evite el encallamiento de las embarcaciones, un fácil acceso a la orilla y al tráfico para labores de cargas, descarga y comercio, eligiendo así mediante estos elementos el sitio ideal para instalar el puerto. Luego apunta al diseño de un buen refugio para la pesca normalmente a través de obras de abrigo, más tarde se analizan los materiales y equipos de construcción más propicios para el lugar y se ofrecen recomendaciones para su correcto uso, además se hace referencia a las labores de mantenimiento y servicio para que el proyecto continúe funcionando de manera correcta.

Este manual está a la mano de todo público, y es un incentivo para la buena práctica de la pesca masiva y artesanal que facilita la tarea de aquellas personas a cargo de planificar la



conversión futura de refugios en puertos de pesca cuando surja la necesidad y optimiza sus recursos para la construcción de un refugio que resulte útil y mantenible, además incluye aspectos ambientales que promueven la limpieza en los puertos y la reducción de la contaminación al medio.

Lo que se hizo en España fue un poco más específico en el diseño que las normativas anteriores mencionadas, ya que en el año 2011, el ministerio de fomento del gobierno Español hizo público el documento “tipos y funciones de obras de atraque y amarre”, en el cual se dan criterios para la elección de la configuración física más conveniente de acuerdo a las condiciones de funcionalidad y características de la zona donde se instale la obra; es decir que no solo se dan recomendaciones de diseño, sino que además se plantean configuraciones estructurales para cada caso, con el objetivo así de favorecer y facilitar la implantación práctica de procesos metodológicos para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre basados en la valoración y verificación de los niveles adecuados de seguridad y operatividad de las mismas en cada momento, buscando de esta manera la optimización económica de las obras, en desarrollo de lo dispuesto en el procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias.



6. ESTADO DEL ARTE

A nivel global a diario se realizan pruebas e investigaciones que buscan hacer cada vez más sofisticado e inocuo la actividad muellística y portuaria, algunas ya han sido aplicadas y otras están encaminadas a ser implementadas.

Reducing harbor siltation (Reducción de la sedimentación en puertos.).

En marzo del 2012 la ASCE publica un documento que describe una década de investigación sobre medidas de reducción de la sedimentación en dársenas y la metodología y técnicas de medición desarrollados. Primero se realiza una clasificación de los mecanismos de la sedimentación en varios sistemas de puerto, dentro de los cuales están los de arrastre horizontal por capas de mezcla, relleno de las mareas, y corrientes de densidad. Esta clasificación distingue entre puertos de distintos ambientes, es decir, sistemas de agua estancada, tales como lagos poco profundos, en los que prevalecen las corrientes inducidas por el viento, sistemas fluviales, sistemas de marea, ya sea homogénea fresca o solución salina y sistemas estuarinos con gradientes de densidad inducidas fresco / agua salada. Con los estudios de diseño detallado obtuvieron grandes reducciones en las tasas de sedimentación de varias decenas de por ciento para todas las cuencas portuarias ubicadas en los sistemas, cuando se usaba una variedad de técnicas de reducción de la sedimentación. Estas reducciones se lograron mediante la disminución de los caudales de cambio entre el puerto y el agua a temperatura ambiente, y la reducción de la concentración de sedimentos del agua en la cuenca (WINTERWERP,2012). La metodología desarrollada es rentable y por lo tanto, aplicable a grandes puertos comerciales, así como los pequeños puertos deportivos de cualquier lugar del mundo, incluso en Colombia y Cartagena.

Patologías, inspección y propuestas de reparación de estructuras de muelles portuarios - caso región Ancash Perú.

En el año 2011 en la Región Ancash-Perú se realizó un estudio para entender mejor las causas que originan las patologías en estructuras de hormigón armado en el medio marino,



específicamente en los muelles portuarios. En varios muelles portuarios de la región, se han observado diferentes patologías debido principalmente a su ubicación en un entorno altamente agresivo, a ello se suma la antigüedad de dichas estructuras y su falta de mantenimiento o mala práctica del mismo.

En este trabajo se plantea un estudio particularizado de tal tipo de patologías estructurales, indicando también una propuesta de inspección preliminar, así como plantear sistemas de reparación para la aplicación en dicho entorno marino. Todos esos aspectos aplicados posteriormente al caso particular de muelles operativos existentes en la región Ancash. (AVILA, 2011).

El estudio también busca informar a las personas que se desempeñan en el área de la construcción, los diversos tipos de patologías que pueden existir en estructuras de hormigón armado como es el caso de los muelles portuarios.

Entonces se concluye que aunque el medio ambiente marítimo es extremadamente severo, hay otros factores que afectan las degradaciones prematuras del hormigón, como la mala calidad de la construcción debido a la falta de mano de obra especializadas, las normas deficientes, proyectos debido a la falta de información sobre los parámetros que influyen en el proceso de degradación, de allí que una buena práctica constructiva dependa la durabilidad de una estructura más aun en ambiente marino, tal como es evidente a nivel local.

Superposition impact character of air Pollution from decentralization docks in a freshwater port (Naturaleza del impacto en la superposición de la contaminación atmosférica procedente de los muelles de descentralización en un puerto de agua dulce).

En esta investigación reciente de mayo del 2013 se empleó un modelo ADMS para hacer una evaluación eficaz e integrada y predecir el impacto de la superposición de múltiples fuentes de contaminación del aire no puntuales cuando las diferencias de las condiciones climáticas a gran altitud no eran relevantes.



La contaminación en el aire en los puertos principalmente es causada por el polvo del material de carga y descarga y en algunos casos por la erosión eólica de suelos desnudos. La contaminación del aire generada por un solo muelle es diferente a la generada por varios muelles dispersos. Por lo cual el puerto Freshwater de la provincia de Shandong fue seleccionado como caso de estudio para obtener la contribución en la contaminación atmosférica si se superponían varios muelles dispersos y proporcionar así un apoyo técnico para la evaluación del sistema de la contaminación atmosférica de cada puerto. Los resultados indicaron que la contaminación del aire por el puerto Freshwater se encuentra en un bajo porcentaje de impacto de la contaminación sobre la calidad ambiental de la región debido a que el puerto está formado por varios muelles pequeños y dispersos, sin embargo, el centro geométrico de la región formado por la distribución de los muelles es gravemente afectado debido a la superposición de la contaminación del aire (LIU, Li. et al; 2013).

Esto permitió concluir que la contaminación del aire debido al efecto combinado de varios puertos a la vez es más intensa en las zonas centrales de los mismos, lo cual es de mucha utilidad para buscar localizaciones estratégicas a futuro para puertos en Cartagena que generen el menor impacto en los focos.

Modeling passing vessels and moorings in port design and operation (Modelado de las embarcaciones de paso y los amarres en el diseño y operación portuaria).

En este trabajo de la ASCE del 2010 se presenta la experiencia reciente en la aplicación de modelos numéricos en la transmisión de fuerzas hidrodinámicas de los buques junto con los modelos dinámicos de amarre para la planificación, diseño y operación de un puerto de contenedores prevista en Norfolk, Virginia. Se hace una comparación entre métodos empíricos y métodos numéricos en el tiempo para el cálculo de fuerzas de la embarcación pasajeras y además se hacen recomendaciones sobre el tipo de modelos requeridos para representar con precisión la magnitud y la variación de los efectos de las naves que pasan por el puerto. Los modelos se utilizaron para determinar la ubicación planificada de un muelle y así minimizar los efectos hidrodinámicos de los barcos que pasan. (SMITH, Pinkster. et al; 2010).



Floating port - Design, Construction, and Test (Diseño de puerto flotante, Construcción y Prueba).

En este estudio de la ASCE del 2013 se analizó la viabilidad de un futuro terminal de contenedores flotante efectivo, mediante un análisis numérico en un medio ambiente marino simulado. El adoptado esta investigación para desarrollar a futuro nuevas instalaciones portuarias y ayudar a superar los problemas asociados con las propiedades, terrenos limitados de alto precio. Para ello se utilizó una estructura de hormigón flotante a escala de gran tamaño (164 pies x 98 pies x 16 pies) la cual fue diseñada, construida e instalado en la isla de Geoje, Corea del Sur con el fin de realizar una prueba de modelo de campo de una futura terminal de contenedores flotante en un ambiente marino real.

Se evaluó la estabilidad, tanto en condiciones de funcionamiento y extrema obteniendo resultados bastantes satisfactorios. Esta instalación flotante de gran tamaño no sólo ahorraría aparcamiento caro y espacio de almacenamiento, sino que también mejoraría significativamente la eficiencia de la construcción naval al ahorrar tiempo en la transferencia de equipo pesado entre el dique seco y el área de almacenamiento de las tierras altas. (WOOSUK, Sang. et al; 2010).



7. MARCO LEGAL

La normativa de diseño de estructuras por excelencia en Colombia es Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), sin embargo esta solo se aplica a edificaciones de uso u ocupación primordial por los seres humanos, por lo tanto no contiene especificaciones diseño para estructuras tales como los muelles, tal como lo indica el apartado A.1.2.4.1.

Dentro del marco legal, la construcción y operación de un muelle en Colombia solo es vigilada desde el punto de vista ambiental y de seguridad marítima y fluvial, teniendo en cuenta que las actividades relacionadas al desarrollo portuario derivan en impactos al medio natural ya sea en la masa de agua intervenida o en los ecosistemas circundantes. Por ello la Dimar entidad encargada de coordinar y controlar todas las actividades marítimas y fluviales en Colombia, establece medidas preventivas tanto en la franja de agua intervenida por un muelle, como en todas las zonas adyacentes que puedan verse comprometidas en su seguridad integral.

Algunos puntos importantes dentro de la normatividad marítima se encuentran en el decreto 1875 de 1979, por lo cual se usa para responsabilizar o sancionar según sea el caso a aquellos que de manera directa o indirecta introduzcan sustancias o energía en el medio marino cuando produzcan o puedan producir efectos nocivos. Por ello en este código se define claramente la contaminación marina, daños al ecosistema, riesgos a la salud humana y demás actividades que deterioran la calidad del agua del mar.

Esta ley incumbe todas las entidades o individuos cuyas actividades en contacto directo o indirecto con los cuerpos de agua pueda implicar alteraciones en medio marino o en la seguridad del mismo.



De igual forma, la DIMAR para fomentar la protección al medio fluvial y garantizar la seguridad de las actividades llevadas a cabo en este, desarrolló la ley 1242 del 2008, en la cual se involucran actividades portuarias, tales como construcción, mantenimiento, rehabilitación, operación y administración de puertos en las vías fluviales que pueden generar problemas ambientales locales.

Por tal razón los organismos que ejercen funciones de transporte y operación de puertos, muelles, embarcaderos y bodegas fluviales la adoptan como directriz en sus ejercicios.



8. METODOLOGÍA

Se parte de la base que ningún proyecto marítimo o terrestre tiene solución única, en este caso un muelle puede ser diseñado y construido a través de diferentes alternativas que cumplan con todos los requerimientos de la obra. Para ello se ha realizado un estudio desde los siguientes enfoques investigativos:

- Enfoque de uso y explotación
- Enfoque climático
- Enfoque geotécnico
- Enfoque morfológico
- Enfoque medioambiental
- Enfoque constructivo y de materiales
- Enfoque estructural y cargas externas
- Enfoque de conservación y mantenimiento

Este estudio se ha soportado mediante un conjunto de actividades que se presentaran a continuación, cuyo fin ha sido el de hacer análisis evaluativo de los pros y contras desde el punto de vista estructural, de operación y económico al momento de diseñar y construir muelles en la ciudad de Cartagena de Indias.

8.1 VISITAS A LA SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

Los criterios generales de diseño aplicables para cada muelle varían según el uso que se le dé al mismo, los tipos de embarcaciones, la mercancía que se maneja, las cargas y los requerimientos morfológicos son elementos que dependen del destino que se le va a dar a la obra(CABALLERO, 2012).



Con el fin de reunir las especificaciones técnicas para el diseño muelles y configuraciones estructurales necesarias según su fin, el autor llevó a cabo una entrevista durante el primer día de Octubre con el ingeniero Pedro Fabris, uno de los miembros de la Secretaria de Infraestructura de la Alcaldía de Cartagena de Indias, entidad encargada de inspeccionar el cualquier tipo de obra civil en la ciudad. El tema central de la entrevista fue acerca de las tipologías de muelles que operan en los dos litorales del país, haciendo referencia al litoral del norte y especialmente a Cartagena. Durante la misma se recopiló información referente a los principales puertos de Cartagena, uso y capacidades de carga.

8.2 ANÁLISIS DATOS DE MONITOREO E INFORMES EMITIDOS POR EL CIOH.

La dinámica del clima marítimo en el lugar donde se construya un muelle modifica las condiciones en la cual se emplaza el mismo, teniendo en cuenta la interacción de la estructura con el viento, el oleaje, las corrientes, las mareas y demás elementos meteomarítimos (MINISTERIO DE FOMENTO ESPAÑOL, 2011). El manejo de la información del clima marítimo en Cartagena está a cargo del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH), la cual contiene la coordinación de todas las actividades del medio marino y atmosférico relativas a la oceanografía en general y a la meteorología marina, por lo cual el autor realizó una investigación en la página web de este organismo, donde se encontraron boletines mensuales acerca de los cambios meteorológicos y oceanográficos más relevantes en Cartagena y todas las zonas aledañas, además cada uno de ellos contenía un análisis y conclusión acerca del comportamiento de los elementos y los aspectos más destacados, tomando así valores y datos relevantes de observaciones a nivel local de vientos, mareas, oleaje y corrientes, los cuales fueron obtenidos de boletines meteomarítimos del Caribe particularmente para Cartagena, los cuales son emitidos cada mes por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH). Esta actividad se llevó a cabo durante los días 1,6,10,13,15,16 del mes de octubre.



Algunos datos acerca de la composición del suelo de la Bahía de Cartagena fueron obtenidos del artículo del 2013 la revista SCIELO “Bahía de Cartagena (Colombia): distribución de sedimentos superficiales y ambientes sedimentarios” de la autoría de Restrepo.

8.3 ENTREVISTAS A LA DIMAR

La construcción y operación de un muelle marítimo suele generar impactos ambientales directos o indirectos sobre los ecosistemas y comunidades circundantes al proyecto. La construcción de estructuras artificiales, las operaciones de dragado, el transporte y eliminación de materiales, el desarrollo de la zona playera, la apertura y explotación de cantera generan dificultades ambientales como producto de la alteración del medio natural y liberación de contaminantes antropogénicos sobre el mismo, de esta manera se ven afectados la masa de agua intervenida y otros entornos colaterales a las zonas de operación (MARTÍNEZ, 2008).

Por ello generalmente se cuenta con un organismo y un soporte de normas ecológicas que vigilen y controlen las acciones llevadas a cabo en la construcción y operación de un muelle. Teniendo en cuenta que la DIMAR es el órgano en el país encargado de velar por la protección del medio ambiente marino y de evitar daños en el medio ambiente y afectación de economía y seguridad nacional, con el fin de obtener la información requerida el autor tenía previsto realizar varias entrevistas a los funcionarios encargados de esta organización, la cual no fue necesaria, debido que las normativas ecológicas se pudieron encontrar en la página web de la DIMAR.

Consecuentemente se visitó la página www.dimar.mil.co, se ingresó a la ficha de seguimiento “Normatividad Marítima” y se introdujeron las palabras claves “contaminación portuaria en Cartagena”, “Contaminantes en la Bahía de Cartagena”, dentro de un rango de año de publicación desde 1978 hasta la actualidad y cualquier tipo de norma, la cual podría ser ley,



decreto-ley, decretos o resoluciones. Obteniendo así todas las disposiciones dentro del marco legal y las sanciones correspondientes al incumplimiento de las mismas.

8.4 CONSULTAS A LOS INGENIEROS DE SUELOS ÁLVARO COVO TORRES Y GUILLIAM BARBOZA

Con el fin de precisar consideraciones geotécnicas y sugerencias en lo relacionado a la interacción en los muelles suelo-estructura se entrevistaron a los ingenieros Guilliam Barboza y Álvaro Covo Torres. Dentro de los temas tratados se destacaron:

Aspectos geotécnicos en la interacción estructura-suelo para muelles marítimos, en el cual se hizo énfasis a todos los estudios que se llevan a cabo antes y durante la construcción y operación de un muelle para determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del lecho y las correspondientes las determinaciones del proyecto .

Enfoque geotécnico en muelles citando las acciones predominantes laterales en las embarcaciones que atracan con una cierta velocidad o quedan amarradas a una estructura portuaria con criterios de cálculo en base a las masas de agua que desplazan, velocidad de contacto y superficies expuestas al viento y a la velocidad del agua bajo la línea de flotación. Con ello se analizaron las magnitudes de las acciones laterales que deben resistir los elementos estructurales de un muelle y los esfuerzos y deformaciones sobre el terreno.

Aspectos geotécnicos en las obras de dragado, los cuales constituyen un estudio de mucha importancia para cada una de las fases del dragado, describiendo los métodos y equipos (penetración estándar, pruebas de laboratorio, granulometría) de exploración y los muestreos empleados para determinar las características del suelo tales como la resistencia al corte, composición del suelo entre otros.



De cada una de las entrevistas se tomaron las consideraciones generales y recomendaciones hechas por los ingenieros de suelos. Con ello se realizó un resumen escrito y tablas de datos con parámetros geotécnicos para el diseño muelles.

8.5 INVESTIGACIÓN DE REQUERIMIENTOS MORFOLÓGICOS PARA EMBARCACIONES

Se llevó a cabo una investigación durante los días 20,22, 23 del mes de octubre en donde se consideran los componentes: la necesidad de área de la superficie en planta, la geometría de las pendientes del terreno y los calados naturales existentes en la localización de la obra para hacer la mejor elección en el diseño de un muelle, ya que estos requerimientos morfológicos para cada estructura varían en función de las proporciones de las embarcaciones que atracan en las mismas.

Para tal investigación, la información acerca de los requerimientos para embarcaciones de cada tipo en los muelles de Cartagena de Indias, fue obtenida a través de una visita al portal virtual de la Superintendencia de Puertos y Transporte, del Ministerio de Transporte de Colombia. Las palabras claves que se ingresaron en el buscador de la página web fueron “buques en Cartagena”, contando así con varias categorías y noticias que complementaron la búsqueda del autor.

8.6 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS BATIMÉTRICOS DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA CIUDAD

Uno de los requerimientos morfológicos para un muelle es el calado de las embarcaciones que arriban a las instalaciones, el cual está directamente relacionado con la profundidad natural del cuerpo de agua circundante (CHAPAPRIA, 2004), de allí que fuera necesario adelantar una investigación para recopilar datos batimétricos o topohidrográficos de los cuerpos de



agua de Cartagena, de tal manera que sirvió de ayuda para elección de las tipologías de muelles más conveniente de acuerdo al relieve marino en diferentes zonas de la ciudad.

La recopilación de los datos batimétricos en algunas zonas de la ciudad se obtuvo del portal virtual de la CIOH, mediante el ingreso a la ficha “Derrotero de las costas colombianas”, allí se pudo descargar en imágenes la información necesaria.

8.7 INVESTIGACIÓN SOBRE CONTAMINANTES DE LA BAHÍA POR ACTIVIDAD PORTUARIA

Se desarrolló una meticulosa investigación el día 19 de octubre para evaluar qué acciones relacionadas con la construcción, operación y mantenimiento de los muelles en la ciudad alteran el equilibrio del medio natural, puntualizando los principales elementos contaminantes y sus impactos, para de esta manera proponer las medidas preventivas, protectoras y correctoras necesarias para disminuir los efectos negativos de las actividades portuarias en cuestión.

La investigación consistió en una búsqueda virtual en los libros virtuales desarrollados por la CIOH, organismo de la DIMAR. Dentro de las diferentes alternativas, se encontró un libro titulado “Panorama de la contaminación del Caribe colombiano”, en el cual se recopilan actividades y elementos contaminantes de los puertos del Caribe, en especial el de Cartagena de Indias. Obteniendo así valiosos datos y registros contaminante en la Bahía y demás cuerpos de la Ciudad.

8.8 INVESTIGACIÓN SOBRE MÉTODOS CONSTRUCTIVOS Y MATERIALES DISPONIBLES EN CARTAGENA.

Existen muchas maneras y métodos de construir muelles y un buen diseñador debe asociar la disponibilidad local de los materiales (hormigones, aceros, escolleras y áridos, entre otros), la



mano de obra y su coste económico, de tal manera que pueda elegir la alternativa más conveniente para su proyecto; es decir elegir soluciones simples que permitan un alto grado de flexibilidad de aplicación en los diferentes procedimientos constructivos (OCTAVIO, Sánchez. et al; 2010). Para ello durante los días 12, 13, 17 se investigó acerca de los métodos de construcción más usados en Cartagena, los materiales de mayor accesibilidad y sus precios, costos de mano de obra, localización de las zonas abastecedoras de materiales como las canteras y grandes almacenes etc. Esta investigación sirvió para hacer un análisis en los métodos constructivos, donde se combinaban variables como precios de venta, costos de transporte, facilidades de acceso, tiempo y distancia a las abastecedoras de materiales, permitiendo determinar así las metodologías más económicas, eficientes y accesibles en Cartagena.

En el desarrollo de esta investigación se contó con la ayuda y supervisión del Ingeniero José España de la Universidad de Cartagena, y la valiosa colaboración del Ingeniero-Arquitecto, José Caballero.

8.9 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA GENERAL EN REVISTAS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MUELLES.

Los días 1,5,10,14,15,16 del mes de octubre se ha hecho una investigación exhaustiva en las bases de datos de la universidad, libros de construcción y diseño de instalaciones portuarias (Ingeniería Marítima y Portuaria) y guías de diseño internacional para la construcción de puertos (construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros; FAO). Con las anteriores se ha redactado una metodología acerca de procedimientos constructivos de un muelle y estudios previos para la construcción de un muelle en la ciudad de Cartagena con datos y recomendaciones adaptados a nivel local.

En la bases de datos de la Universidad de Cartagena se encontraron datos acerca de la composición del suelo de la Bahía de Cartagena fueron obtenidos del artículo de la revista



SCIELO Bahía de Cartagena (Colombia): distribución de sedimentos superficiales y ambientes sedimentarios (Restrepo et al Franco...). Las palabras de búsqueda fueron “suelo marino y sedimentos de la Bahía de Cartagena” y no se utilizó ningún tipo de filtro. Esta información fue utilizada para desarrollar aspectos geotécnicos de diseño de un muelle y consideraciones en el dragado en Cartagena de Indias que condicionan el dragado, teniendo en cuenta el flujo de los sedimentos y la operación del mismo, para ello también se realizaron búsquedas bibliográficas en los libros Obras Marítimas, Chapapria e Ingeniería Marítima y Portuaria de Guillermo Macdonel, con las anteriores se ha redactado una metodología acerca de las condiciones que afectan el dragado de un muelle en la ciudad de Cartagena con datos y recomendaciones adaptados a nivel local.

8.10 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA GENERAL EN REVISTAS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MUELLES (PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE PARA ACTIVIDADES DE DRAGADO).

Conociendo el impacto que tiene la actividad de dragado al medio natural, se investigo acerca de las medidas preventivas llevadas a cabo para disminuir al mínimo los efectos negativos de esta labor, la disposición del material de dragado y los organismos encargados de vigilar esta actividad. Para ello primero se indago acerca de los organismos nacionales e internacionales como la DIMAR y London Dumping Covention que velan por la protección al medio durante los procedimientos durante el dragado. Además se investigó en libros de ingeniería portuaria acerca de directrices que estos recomiendan para una buena actividad de dragado que afecte en lo más mínimo al medio circundante.

8.11 ANÁLISIS ESTRUCTURAL, SÍSMICO Y DE VIENTO EN LOS MUELLES

Los muelles deben ser diseñados y construidos con una adecuada configuración estructural, con componentes de dimensiones apropiadas y materiales de proporciones, resistencia y



durabilidad suficientes para soportar la acción de las fuerzas causadas por sismos, vientos, oleaje y presiones hidrostáticas (GALLEGO, 2010) Por lo cual se realizó una investigación a través de revisiones bibliográficas como el libro “Ingeniería Marítima y Portuaria, Guillermo Mc Donnell” y una tesis de grado titulada “Evaluación de estado actual de las instalaciones del muelle turístico de EDURBE y estudio de las obras requeridas, Nelson Enrique Zamorano”; además se pidió la supervisión del ingeniero civil José España Moratho, el cual ha desarrollado y dirigido muchos trabajos de muelles en Cartagena y sus alrededores. Con ello se armaron consideraciones estructurales de diseño para este tipo de obras, teniendo en cuenta las acciones laterales de las embarcaciones, fuerzas sísmicas, fuerzas de viento, oleaje y cargas de gravedad.

8.12 CONSULTAS A EXPERTOS EN CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MUELLES E INVESTIGACIONES ACERCA DE LOS MECANISMOS MÁS USADOS PARA PRESERVAR MUELLES.

Los muelles después de construidos se encuentran sometidos a constante deterioro sufrido por el uso y agresiones por parte de los agentes meteomarítimos, propias de su contacto directo con el medio natural (GOZÁLES, 2006). Debido a ello fue necesario indagar sobre soluciones que aseguraran la durabilidad y óptimas condiciones de operatividad una muelle durante su vida útil, considerando los costos de mantenimiento y reparación que se prevean necesarios en dicho periodo. Para conocer y entender las técnicas y métodos de mantenimiento preventivo y correctivo más apropiados para las estructuras marinas localizadas en Cartagena, a mediados del mes de octubre consultaron a los ingenieros José España y Donaldo Barreto, profesionales con mucha experiencia en diseño y construcción de muelles. Con el aporte realizado por los expertos se realizó un análisis de viabilidad de cada uno de estos procedimientos.

Cabe destacar que el estudio de los diferentes medio naturales a los que se encuentra sometido un muelle ha sido parte del soporte para el análisis anteriormente mencionado, en donde se pudo comparar con claridad las ventajas y limitaciones en las técnicas de mantenimiento y preservación de la estructura según las características del entorno.



9. RESULTADOS

9.1 TIPOLOGÍA DE MUELLES EXISTENTES EN COLOMBIA (SGP, DIMAR, MINISTERIO DE T)

Los puertos marítimos tienen un papel fundamental en el desarrollo de las operaciones comerciales de Colombia. Actualmente, más del 90% de las exportaciones e importaciones que realiza el país se efectúan por esta vía. 3

Colombia cuenta con aproximadamente 183 puertos registrados, de los cuales de 56 puertos o terminales se reportan a la SGP (Superintendencia General de Puertos), más 127 instalaciones en los dos litorales contenidos por la SGP, DIMAR y la Dirección General de Transporte Fluvial del Ministerio de Transporte. A continuación se presenta un inventario de los puertos existentes en los dos litorales del país:

Tabla 9.1. Puertos existentes en los dos litorales del país

Costa Atlántica		Costa Pacífica			
Región	No.	Región	No.	Región	No.
Guajira	6	Juradó	2	Guapi	2
Santa Marta	3	Bahía Solano	1	Iscuandé	1
Barranquilla	50	Nuquí	3	El Charco	2
Cartagena	51	Querá (río Baudó)	1	La Tola	3
Morrosquillo	6	San Isidro (río Calima)	1	Satinga	1
Turbo	11	Buenaventura	15	Mosquera	1
Atlántico chocoano	3	Puerto Merizalde	2	Salahonda	1
Isla de San Andrés	3	Timbiquí	1	Tumaco	13
Total Costa Atlántica	133	Total Costa Pacífica			50
Gran Total			183		

Fuente: Consorcio Incoplan & Parsons (CIP)



9.1.1 Principales centros portuarios del país

En Colombia existen cuatro puertos que se han consolidado como los principales del país teniendo en cuenta la magnitud de las masas que mueven y sus fines multipropósitos. Para el Caribe los principales puertos son Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, por su parte, en el Pacífico, el puerto de Buenaventura es epicentro de buena parte de las exportaciones e importaciones de productos no tradicionales.

Ilustración 9.1.1 Principales centros portuarios del país



Fuente: Consorcio Incoplan & Parsons (CIP)



Para caracterizar los terminales portuarios con que cuenta el país, de acuerdo a su tipo de uso o finalidad de la instalación portuaria, a continuación se clasifican por departamento:

Tabla 9.1.1. Tipo de uso de la instalación portuario

Departamento	Tipo de uso de la instalación portuario											
	Carga	Turismo	Embarcaderos	Pesqueros	Astillero	Cabotaje	Deportivos	Militares	Estac servicio	Oficiales	Fuera de uso	Sin muelle
Antioquia	11	0	0	0	0	4	0	1	2	0	0	0
Atlántico	20	0	12	10	7	6	2	0	0	3	6	2
Bolívar	21	2	15	6	5	12	8	1	2	0	0	0
Cauca	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Córdoba	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chocó	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0
Guajira	6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Magdalena	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Nariño	12	1	1	9	0	11	0	0	0	0	0	0
San Andrés	2	1	1	1	0	2	1	0	1	0	0	0
Sucre	3	0	1	1	0	2	0	1	2	0	0	0
Valle	14	1	0	4	0	13	0	0	5	0	0	0
Totales	106	5	30	31	13	64	11	3	12	3	6	2

Fuente: Consorcio Incoflan & Parsons (CIP)

Bolívar es el departamento con el mayor número de puertos en Colombia, de los cuales la gran mayoría están ubicados en la ciudad de Cartagena. Dentro de los principales puertos en Cartagena tenemos:

Tabla 9.1.2. Principales puertos en Cartagena y su especialidad

Características de la Zona Portuaria	
Posición: 10° 24' 18" Norte 75° 32' 05" Oeste	Distancia Carretera con Bogotá: 1.270 Km.
Temperatura: 27° C	Clima: Seco
Terminales Portuarios en la Zona	Especialidad Portuaria
Sociedad Portuaria Regional De Cartagena, CIA. Puerto De Mamonal Productos Algranel S.A., Terminal Marítimo Muelles El Bosque S.A. Contecar Sociedad Portuaria Mamonal S.A. S.P. Jose Roberto Fuentes Dexton Petroquímica De Colombia S.A. Dow Química De Colombia S.A. Colterminales Esso de Colombia Mobil de Colombia	Contenedores y Turismo Carga general – Contenedores Graneles líquidos Carga general – Contenedores Carga general – Contenedores Carga general –Graneles sólidos Carga general – Cabotaje Graneles líquidos Graneles líquidos Graneles líquidos Graneles líquidos Graneles Líquidos – Petróleos y derivados Graneles Líquidos – Petróleos y derivados

Fuente: Consorcio Incoflan & Parsons (CIP)



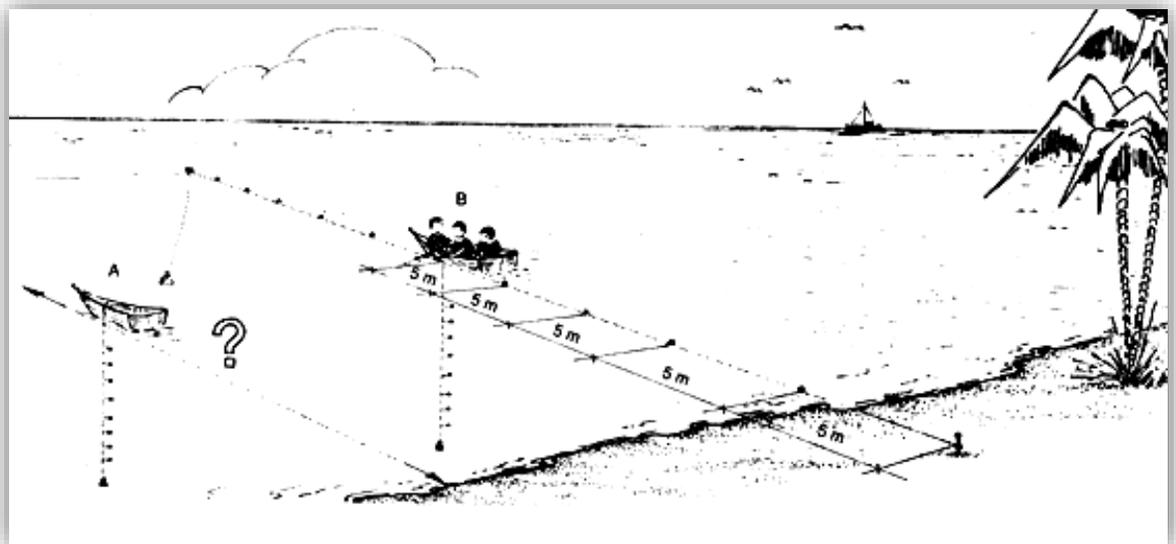
9.2 ESTUDIOS PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE

Estos estudios proporcionan información fundamental para conocer las características del lugar en la cual se pretende construir un muelle.

9.2.1 Topohidrografía.

Son los levantamientos generales en la zona a través de sondeos que permiten trazar curvas de nivel que corresponden a la morfología del fondo marino. Existen muchas alternativas para llevar a cabo esta labor, una de ellas consiste en un sonador acústico portátil que consta de unos claves especiales y una batería, que se utiliza exclusivamente para medir de forma precisa la profundidad del agua.

Ilustración 9.2.1.1 Topohidrografía



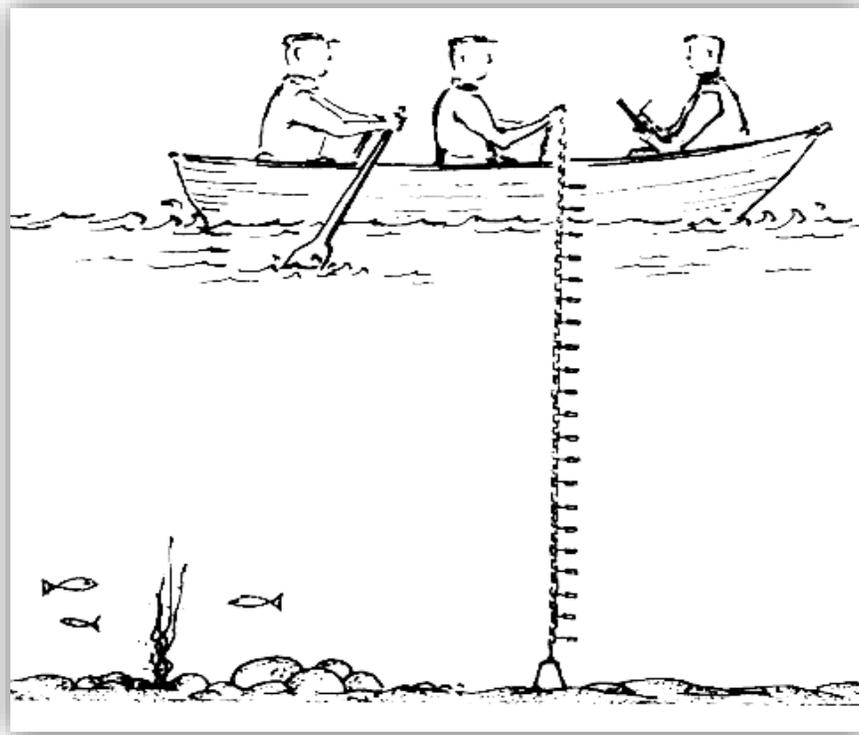
Fuente: Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros

Otra alternativa, cuando se trata del empleo de una cuadrícula de área por levantar, y para obtener los perfiles del fondo se utiliza una barcaza con velocidad constante y de rutas definida por la cuadrícula, a través la cual se toman medidas con la ayuda de una plomada, la tripulación de la barcaza consta de un remador, una persona que realiza el sondeo y el ayudante que anota los sondeos. La distancia horizontal entre sondeo depende de la precisión



que se requiera para el proyecto, pero se recomienda entre 20 y 100 metros. Muchas veces se recomienda que la barcaza sea relativamente pesada a fin de poder contrarrestar vientos transversales ligeros y la acción del oleaje. Para el caso particular de Cartagena, el poco oleaje presentado en los cuerpos internos de agua puede ser una ventaja para llevar a cabo este procedimiento.

Ilustración 9.2.1.2 Topohidrografía



Fuente: Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros

9.2.2 Vientos y régimen en Cartagena. El viento es el movimiento de las masas de aire debido a las diferencias de presión que se generan en la atmosfera, al soplar sobre el océano origina oleaje y corrientes marinas. El viento es de esencial consideración en el diseño de un muelle, puesto que este junto al oleaje y las corrientes, transmiten sus esfuerzos sobre la superficie de la embarcación, y estos asimismo hacia la estructura del muelle, por ello es recomendable que las embarcaciones no permanezcan amarradas a los muelles cuando se presenten velocidades de viento mayores a 50 Km/h.



Estudios del centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas (CIOH) indican que el periodo del año en el cual la velocidad de los vientos cobra mayor importancia en Cartagena que inicia desde el mes de diciembre hasta el mes de marzo, predomina el flujo de los vientos alisios del noreste, que se producen por el descenso del sistema de altas presiones de las azores, las cuales interactúan con la Zona de Convergencia Intertropical, los vientos oscilan entre 5 y 10 nudos de intensidad y en raras ocasiones sobrepasan estos valores alcanzando hasta los 30 nudos de intensidad equivalentes a 9, 19 y 55 Km/h aproximadamente, lo cual representa brisas entre muy ligeras y moderadas según la escala de Beaufort, con una altura en las olas que generalmente no pasa de 1.2 m (CLIMATOLOGÍA DE CARTAGENA, CIOH, JUNIO 2009).

Ilustración 9.2.2.1 Escala de Beaufort.

Tabla 4.7 Escala de Beaufort.

Clasificación		Velocidad del viento a 10 metros de altura (Km/h)	Altura promedio de las olas en metros
0	Calm	0 - 1	0
1	Brisa	1 - 5	0
2	Viento suave	6 - 11	0 - 0.3
3	Viento leve	12 - 19	0.3 - 0.6
4	Viento moderado	20 - 28	0.6 - 1.2
5	Viento regular	29 - 38	1.2 - 2.4
D.T.6	Viento fuerte	39 - 49	2.4 - 4
D.T.7	Ventarrón	50 - 61	4 - 6
T.T.8	Temporal	62 - 74	4 - 6
T.T.9	Temporal fuerte	75 - 88	4 - 6
T.T.1	Temporal muy fuerte	89 - 102	6 - 9
T.T.1	Tempestad	103 - 117	9 - 14

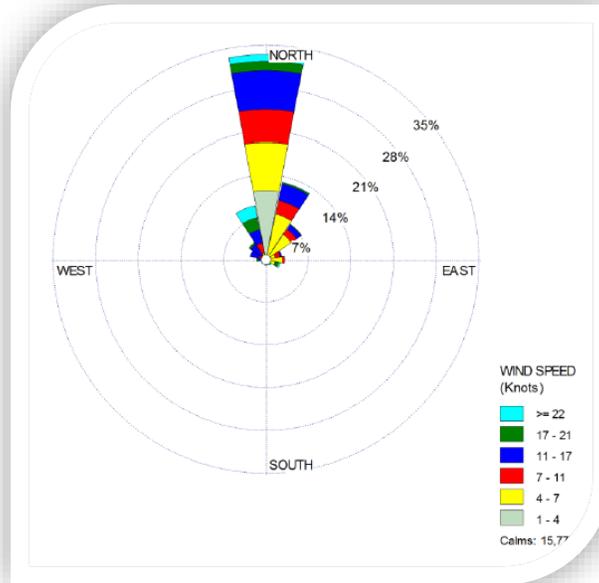
Fuente: Ingeniería Marítima y Portuaria

A continuación se presenta la distribución del régimen de viento los meses más críticos de Cartagena de Indias, entre el año 2012 y 2013, emitidos por la CIOH.



DICIEMBRE

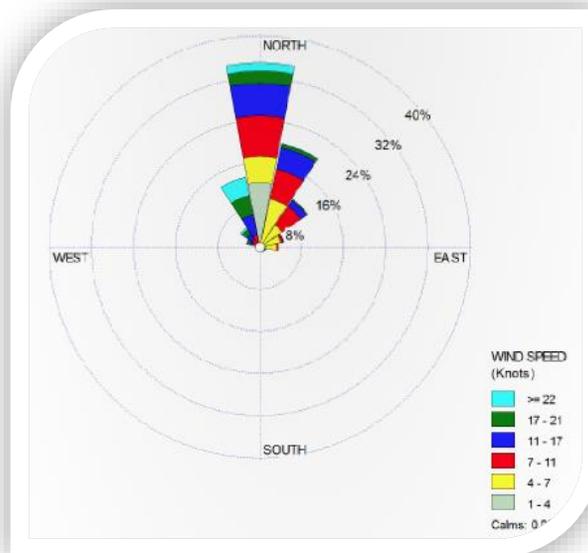
Ilustración 9.2.2.2 Rosa de vientos para Cartagena en el mes de Diciembre, Año 2012



Fuente: CIOH

ENERO

Ilustración 9.2.2.3 Rosa de vientos para Cartagena en el mes de Enero, Año 2013

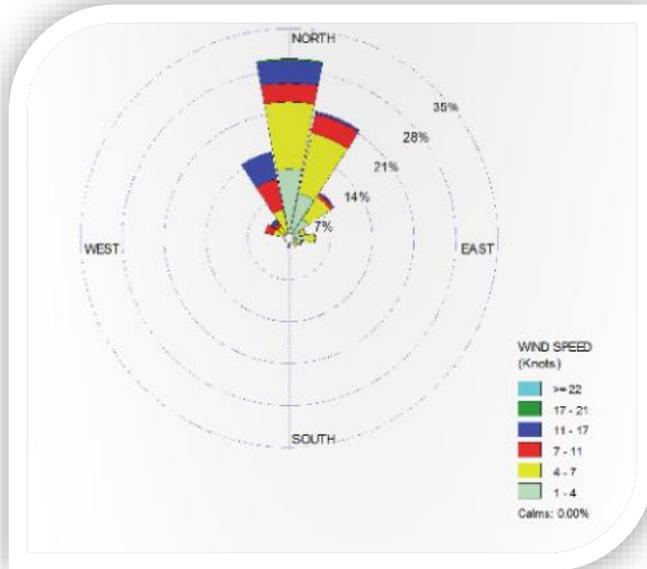


Fuente: CIOH



FEBRERO

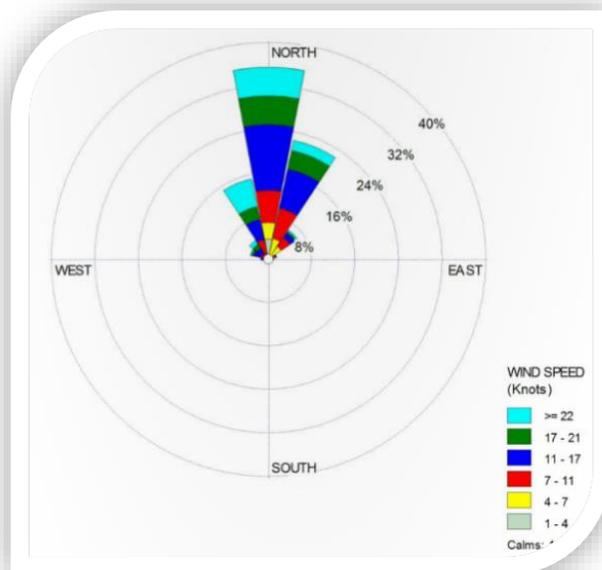
Ilustración 9.2.2.4 Rosa de vientos para Cartagena en el mes de Febrero, Año 2013



Fuente: CIOH

MARZO

Ilustración 9.2.2.5 Rosa de vientos para Cartagena en el mes de Marzo, Año 2013



Fuente: CIOH



9.2.3 Las mareas y niveles en Cartagena

Las mareas son generadas por la atracción gravitacional de la luna y el sol sobre la tierra, y en menor proporción la presión atmosférica, los vientos, las lluvias y caudales fluviales. Estas son de importante consideración en el diseño debido a las variaciones que ocasionan en el nivel del mar y por tanto en la profundidad de diseño y alzado del muelle, además el cambio en las mareas origina corrientes que también deben ser tenidas en cuenta en el diseño.

En Cartagena predomina la marea de tipo diurno mixto. Los niveles máximos del mar durante el año se registran en abril y octubre y los mínimos en enero y julio. El nivel medio del mar es de 0.51 mts. La amplitud media de la marea astronómica que se registra durante la cuadratura en Cartagena es de 0.24 mts y en sicigia es de 0.60 mts. (Pronóstico de pleamares y bajamares en la Costa Caribe Colombiana).

Niveles del mar en la Bahía de Cartagena en los meses críticos Abril, Octubre, Enero y Julio entre los años 2012 y 2013.

Tabla 9.2.3 Datos del boletín meteorológico mensual del caribe, Cartagena 2013

	Max	Min	Variacion
Enero	0,63	0,12	0,51
Julio	0,69	0,18	0,51

	Max	Min	Variacion
Abril	0,63	0,12	0,51
Octubre	0,76	0,28	0,48

Fuente. CIOH

9.2.4 Oleaje. El oleaje es la sucesión de ondas u olas en la superficie del agua, producida por la transferencia de energía del viento generalmente. Si se diseñan muelles fuera de la Bahía o a mar abierto, se requiere de un estudio acerca del comportamiento del oleaje para determinar su altura, longitud, dirección, periodo y probabilidad de ocurrencia.



Con estos datos se requiere un análisis para el diseño de obras de protección (Tales como diques, dársenas, entre otros.) a las estructuras portuarias con el fin de hacer navegable las aguas donde atraquen las embarcaciones.

Cuando se diseñan muelles en el interior de la Bahía, el oleaje deja de ser una de las principales variables de diseño, debido al resguardo que a sus aguas ofrece la isla de Tierra Bomba y su forma particular.

9.2.5 Corrientes

Las corrientes son producto de la acción del viento, la variación de las mareas y el oleaje, es importante conocer sus velocidades y direcciones a diferentes profundidades, ya que están ampliamente relacionadas con el desarrollo de cualquier proyecto sobre el mar. Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta de las corrientes para la construcción de muelle es el arrastre o socavación de materiales del fondo marino. Para Cartagena esta consideración prima para las zonas cercanas a la desembocadura del Canal del Dique.

9.2.6 Muestreo de materiales del fondo

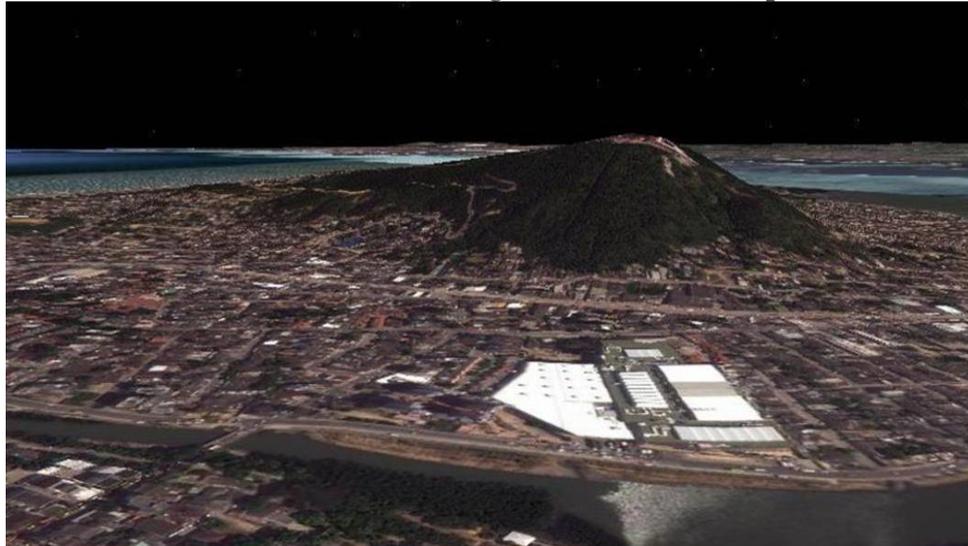
Esta actividad permite reconocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas del material del fondo y determinar a través de un análisis la estabilidad del mismo. La información requerida para precisar las características del terreno es: resistencia al corte, densidad natural, densidad del suelo seco, límites de Atterberg, contenido de agua, peso específico, factor de erosión, densidad líquida de la arena y relación de vacíos.

9.3 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS EN CARTAGENA

En Cartagena la profundidad al estrato resistente apropiado varía en función a la distancia al Cerro de la popa; es decir que a medida que se alejan las zonas de la Popa, el estrato apto es más profundo. Estudios de suelos han determinado que en las construcciones locales, para el sistema de cimentación mediante pilotaje las longitudes de los pilotes son de: alrededor de 10 m para zonas cercanas al pie de la popa, 20m para el Centro Histórico y hasta 30m para las regiones próximas a Castillo Grande (BARBOZA, 2013).



Ilustración 9.3.1.1 Imagen satelital de la Popa



Fuente: Viento en Popa Cartagena.

Las características texturales de los sedimentos superficiales de la bahía de Cartagena están determinadas por la dinámica fluvial del Canal del Dique y la hidrodinámica de la bahía, y en menor medida, por los procesos erosivos de las terrazas de Tierrabomba, isla de Manzanillo, norte de Mamonal y Barú.

Ilustración 9.3.1.2 Imagen satelital de la Bahía de Cartagena



Fuente: Google Maps.



La composición del suelo marino de la bahía de Cartagena está fuertemente influenciada por los aportes sedimentarios que a diario aporta el canal del Dique al interior de la misma, predominando lodos litoclásticos pobremente clasificados o limos y arcillas.

9.4 REQUERIMIENTOS MORFOLÓGICOS PARA MUELLES

Para la morfología se consideran los componentes: la necesidad de área de la superficie en planta, la geometría de las pendientes del terreno y los calados naturales existentes en la localización de la obra para hacer la mejor elección en el diseño de un muelle, ya que estos requerimientos morfológicos para cada estructura varían en función de las proporciones de las embarcaciones que atracan en las mismas.

9.4.1 Área en planta:

Ilustración 9.4.1. Requerimientos de área en planta



Fuente: Consejo de la Administración Portuaria Integral (API).

La determinación de la configuración y dimensiones en planta necesarias en las diferentes áreas de navegación y flotación se realizar en cada caso tomando en consideración los factores siguientes:

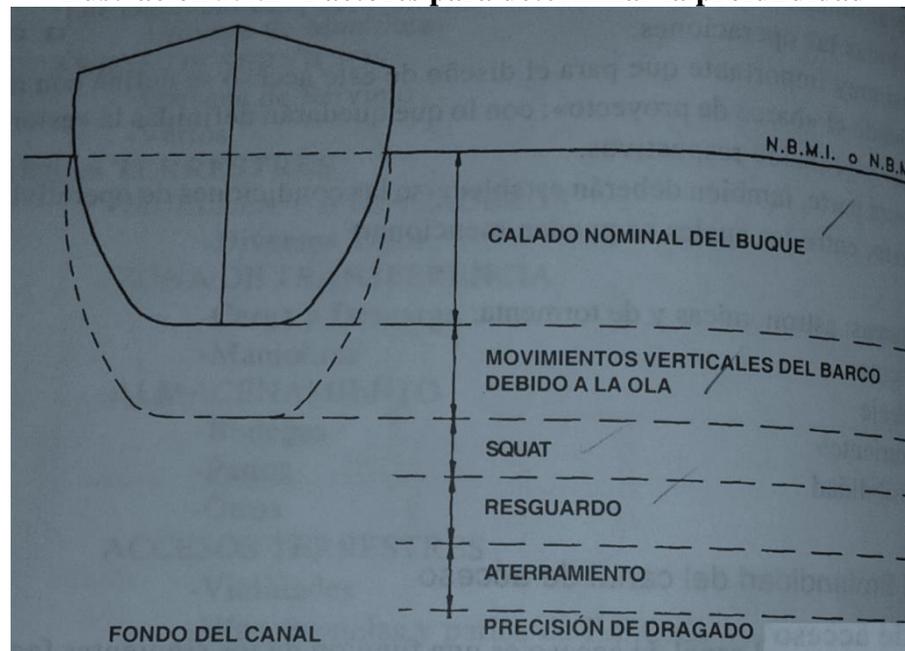


- El tamaño, dimensiones y características de maniobrabilidad de los buques y los factores relacionados con los barcos, incluida la disponibilidad de remolcadores, de los que depende la superficie necesaria para la realización de la navegación, maniobras o permanencia de los buques en el área que se considere (B1).
- Las ayudas a la navegación disponibles y los factores que afectan a su exactitud y fiabilidad, que determinarán las líneas o puntos de referencia para emplazar el buque (B2).
- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con los contornos de las áreas de navegación o flotación, o con otras embarcaciones u objetos fijos o flotantes que puedan existir en el entorno. La valoración de estos márgenes de seguridad se incluye dentro del bloque de factores B1. 4

Generalmente las áreas en planta se determinan a través de métodos totalmente empíricos o semiempíricos en los cuales se fijan las dimensiones en función de criterios de buena práctica de ingeniería.

9.4.2 Requerimientos en alzado:

Ilustración 9.4.2 Factores para determinar la profundidad



Fuente: Ingeniería Marítima y Portuaria.



Profundidad del canal de acceso: En Cartagena este inicia en las afueras de Bocachica y continúa en una longitud de 6 Km. por la Bahía, hasta las proximidades del terminal de la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena. Tiene un ancho en la base de 160 metros. En 1995 se terminaron los estudios de diseño de la profundización; el dragado a 14,0 metros se realizó en su mayor parte, a excepción de un sector próximo a Bocachica que todavía se encuentra con una profundidad de 12,7 metros. La profundidad de acceso es una función de los siguientes factores:

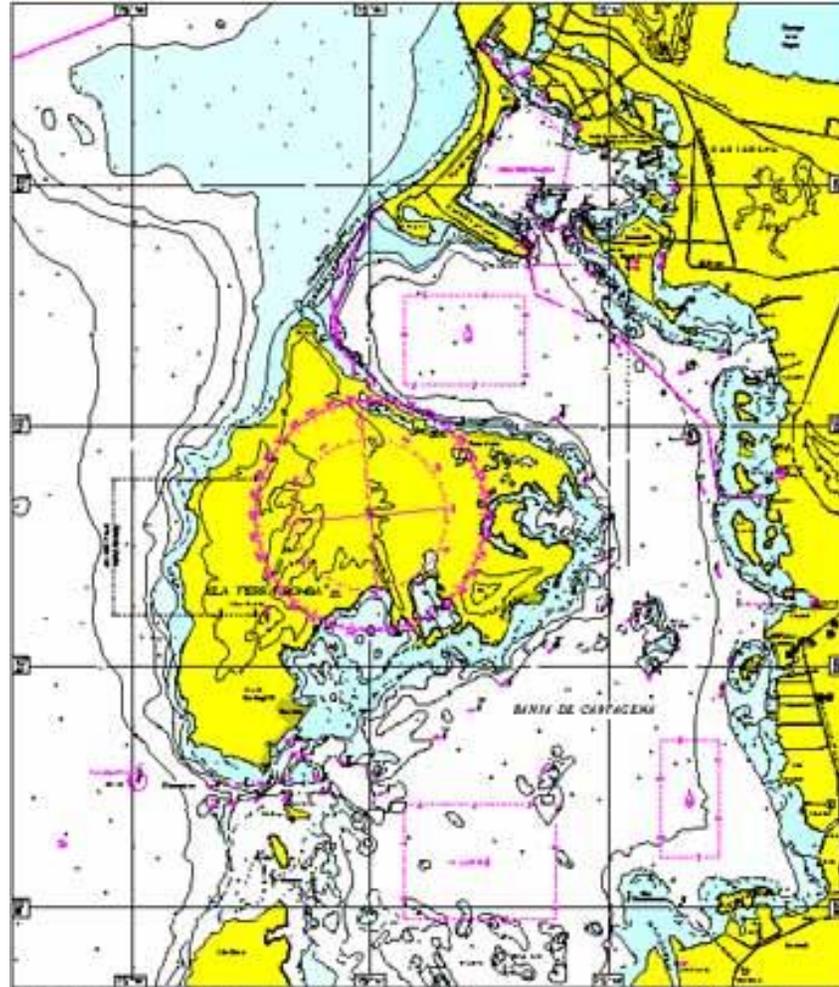
- Calado del buque
- Sentado del buque por efecto de oleaje (Squat): Este fenómeno se presenta cuando el buque entra en aguas bajas y consiste en el hundimiento que este sufre por el incremento de la altura de la ola. Este fenómeno se ha estudiado y es posible establecer este valor de una manera empírica (fluctúa entre 0.5m a 1m) para barcos de 40000 TPM a 250000 TPM respectivamente.
- Oleaje en plena operación: El que en términos generales depende del régimen medio anual, pero que podría considerarse $H=5m$.
- Resguardo bajo la quilla, el cual permite dejar un espacio para que el barco pueda gobernar adecuadamente y con seguridad. (0.5m en fondo arenoso y 1m en fondo rocoso).
- Aterramiento y dragados; los cuales en virtud de que son difíciles de precisar deberán dejar un espacio libre de como factor de seguridad en la profundidad (0.5). (MACDONEL, 1999)

9.4.3 Batimetría

La batimetría hace parte de los estudios previos a la construcción de un muelle y es muy necesaria en un análisis de los requerimientos para las profundidades de diseño y canales de acceso. Se puede hacer un análisis muy previo con información de cartas náuticas de la CIOH.



Ilustración 9.4.3 Carta náutica de la Bahía de Cartagena



Fuente: CIOH.

9.4.4 Variaciones de las mareas y ascenso del nivel del mar.

Se deben establecer criterios específicos para los condicionantes del nivel de las aguas, teniendo en cuenta que no solo se trata de espacios de agua que haya que dejar sujeto solo a la navegación o flotación de los buques, ya existen otros elementos importantes del cual dependen las condiciones de operación de los navíos y de la explotación del muelle, más exactamente, los niveles de coronación. Estos varían de acuerdo a los requerimientos de uso del muelle y a las variaciones del nivel del mar.

Tradicionalmente el comportamiento de los niveles del mar se ha deducido a través del estudio de las variaciones de la mareas, sin embargo en la actualidad existen fenómenos como el cambio climático y consecuentemente el ascenso del nivel de los mares, que debido a su



creciente incidencia en tiempo, podrían ser tenidos en cuenta como un aspecto morfológico más para el diseño de un muelle. Datos altimétricos obtenidos mediante satélites indican que en los últimos años la tasa de aumento del nivel del mar es ligeramente superior a 3 mm/año, lo cual a futuro implicaría un cambio en el dimensionamiento de alzado del muelle.

9.5 PRINCIPALES CONTAMINANTES EN LA BAHÍA DE CARTAGENA

La Bahía de Cartagena comprende el sector que bordea la bahía, incluyendo la parte sur del casco urbano, la zona industrial, Tierra Bomba y el sector norte de Barú. Por su ubicación estratégica y características geomorfológicas, la Bahía de Cartagena es considerada un puerto natural que permite la actividad portuaria como el uso más relevante dentro del contexto económico. Igualmente se destacan las actividades industriales, de pesca artesanal y el transporte marítimo de pequeñas y grandes embarcaciones.

El uso industrial del suelo más denso se localiza al sur de la ciudad, en el margen sur occidental de la Bahía de Cartagena, en la denominada Zona Industrial de Mamonal, área donde está ubicada la industria pesada como refinerías, petroquímicas, cementeras, malterías, entre otras. En el sector del Bosque también se ha incrementado el número de industrias de alimentos, astilleros, productoras de envases, etc. En los últimos años otra actividad que ha influenciado en los cambios del uso del suelo en la ciudad de Cartagena, es la expansión portuaria, debido a la construcción de nuevos muelles, ampliación de los existentes y los patios para el almacenamiento de la mercancía que llegan y salen por estos puertos.

Todo este panorama, sumado a otras circunstancias no mencionadas generan alteraciones contaminantes al medio marino, entendiéndose por contaminación marina, la introducción por el hombre, directa o indirecta de sustancias o energía en el medio marino cuando produzca o pueda producir efectos nocivos, tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas, incluso la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua del mar y menoscabo de los lugares de esparcimiento.



A continuación se hará una descripción de las principales fuentes de contaminantes que llegan a la Bahía de Cartagena a través de diferentes medios.

Tabla 9.5 Contaminantes que afectan la calidad del agua

Contaminantes	Fuentes	Efecto
Contaminantes orgánicos	Aguas residuales domésticas, materia fecal, residuos de alimentos y algunos residuos industriales.	Se descomponen en el agua, disminuyen el oxígeno disuelto en el agua, generando cambios en los ciclos metabólicos microbianos, en la química de los sedimentos y en las comunidades bentónicas.
Nutrientes	Fertilizantes, detergentes, residuos industriales y aceites.	El incremento de fosfatos y nitratos, en el agua induce eutrofización en los cuerpos de agua por la proliferación de algas. Turbiedad en las aguas y disminución del pH.
Metales pesados	Proviene de centros industriales, mineros, actividades militares o a través de lixiviados, meteorización y erosión de las rocas.	Se destacan por su ubicuidad, en algunos casos, constituyen compuestos esenciales para los organismos a nivel de cantidades traza pero que, dependiendo de la forma en la que el elemento esté representado en el medio y de su concentración, pueden ser altamente tóxicos para las distintas formas de vida, llegando incluso a acarrear la muerte de los organismos, mediante la bioacumulación y la biomagnificación en la cadena trófica.
Contaminación microbiológica	Microorganismos patógenos presentes en desechos domésticos no tratados, agua de lastre, criaderos de animales, efluentes contaminados con heces de animales y/o humanos.	Actúan como agentes productores de diferentes enfermedades respiratorias, dermatológicas, gastrointestinales y/o intoxicaciones.
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos del petróleo, compuestos de pinturas y antiincrustantes. Incineración de residuos sólidos.	Alteraciones ecosistémicas, contaminación acuática y terrestre. Daño celular, muerte de los individuos, cáncer y/o alteraciones al sistema inmunológico. La contaminación está dada por el aporte de ácidos, color, sabor y olor al agua.
Temperatura	Termoeléctricas.	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción.

Fuente: adaptado de [Kraemer A. R., et al. 2001].



9.5.1 Aportes del canal de dique

Los ríos se consideran como fuente que transporta diferentes grupos de contaminantes, lo cual hace de ellos una matriz compleja e importante para ser tomada en cuenta. La contaminación transportada por el Canal de Dique se caracteriza por involucrar diferentes fuentes secundarias que descargan a ellos sus vertimientos domésticos, industriales, aguas de lastre de embarcaciones y de agroquímicos

Por otra parte, el Canal del Dique, aporta gran cantidad de sedimentos en la Bahía de Cartagena, que ejercen un efecto en la disminución de zonas de coral en la bahía, este efecto se está propagando a zonas del Parque Nacional Natural de Islas del Rosario. [Escobar, J., 2002, REDCAM 2003]

9.5.2 Aguas residuales domésticas

Inmediatamente antes de entrar en operación el Emisario Submarino, se descargaba un volumen de agua residual sin tratamiento de aproximadamente 2.148.423 m³/día entre la Ciénaga de la Virgen y la Bahía de Cartagena, de los cuales el 78% de las aguas servidas caían a la Ciénaga de La Virgen y el 22% restante, en el sitio conocido como “Cuatro Calles”, en la Bahía. [Garay, T. J., et al., 2001]

Los principales efectos que han ejercido las aguas residuales domésticas sobre la Bahía, se han manifestado directamente en el deterioro de la calidad de las aguas de la misma, así mismo el equilibrio del ecosistema, modificando parámetros como la concentración de oxígeno disuelto en el agua dada por un mayor aporte de materia orgánica por degradar, generando espacios de hipoxia ($O_2 < 4 \text{ mg/l}$) o anoxia ($O_2 < 0,2 \text{ mg/l}$), donde se generan malos olores. Los efectos combinados de la hipoxia junto con la liberación de sulfuros de hidrógeno al medio, además han provocado un mayor estrés en los organismos marinos, generando la muerte de peces, pérdidas de plantas marinas de fondo y otras plantas acuáticas.



9.5.3 Aguas residuales industriales

Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales que bordean la Bahía de Cartagena. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales vertidos, contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en las aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo.

9.5.4 Aguas de lastre

El incremento del transporte marítimo ha favorecido la colonización de especies exóticas a través del mundo. Algunos de los buques que arriban a la Bahía demandan grandes cantidades de agua de lastre para el transporte de diferentes productos como minerales, gas licuado, hidrocarburos, entre otros [OMI, 1998]. Se estima que aproximadamente 10 billones de toneladas de agua de lastre son transferidos globalmente en el año, y que 7.000 especies entre bacterias [Joachimsthal, E.L., et al., 2004] virus [Soto, K., 2005], plantas y animales [Bailey, S A., 2003], son trasladadas en el agua de lastre de los buques alrededor del mundo. [Cavallo, R.A., 2002, Drake A., et al., 2007, Occhipinti- Ambrogi, OMI, 1998].

Es por esta razón que organismos como la Organización Marítima Internacional, (OMI), ha identificado la transferencia de organismos exógenos en el agua y en los sedimentos del lastre entre las cuatro fuentes principales de contaminación del mar.

9.5.5 Aguas residuales agrícolas y pecuarias

Si bien Cartagena no es un centro agropecuario del país, muchos de los diferentes agroquímicos empleados llegan a la Bahía de Cartagena de forma indirecta por filtraciones de agua de riego transportados por fuentes de agua continental (Canal del Dique). Se sabe que las actividades agrícolas contribuyen aproximadamente con el 50% de las fuentes de contaminación total del agua superficial, por medio del mayor enriquecimiento de



nutrientes, Principalmente, el ion amonio (NH) y nitrato 4 (NO) derivados de los fertilizantes 3 empleados en los cultivos de la región [Olivos A., 2002].

En ciudades como Cartagena se fabrica, manufactura y distribuye gran parte de estos compuestos, y como consecuencia de la expansión de la frontera agrícola, en los últimos años se ha presentado un incremento en la importación, exportación y ventas nacionales de plaguicidas. Trayendo como consecuencia un incremento de su uso y por ende un aumento en las concentraciones liberadas a los cuerpos de agua [REDCAM, 2003].

9.5.6 Residuos de metales pesados

Las actividades industriales, agroindustriales y mineras descargan diferentes volúmenes de metales pesados al Caribe colombiano, de acuerdo con el informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia 2005, se sabe que para plomo y el cadmio unos de los mayores aportes provienen del Canal del Dique. [Marín, et al., 2005].

Las concentraciones de plomo, cadmio y cromo aportadas por el río Magdalena y el Canal del Dique, son una fuente importante de contaminación metálica en los sistemas que le están asociados, como consecuencia del frecuente vertimiento de desechos de origen antrópico (desechos industriales, empresa metalúrgica, fundición, galvanización, industria térmica) procedentes de ciudades como Cartagena y los cuales finalmente son descargados a sus cuerpos de agua.

9.5.7 Presencia de hidrocarburos

El vertimiento de petróleo y sus derivados es una de las acciones más recalcitrantes que puede sufrir la costa y puede causar importantes pérdidas económicas sobre todo en el sector turístico y pesquero. Su acción directa desaparece al retirar el hidrocarburo de las zonas afectadas. En cambio, los efectos sobre los recursos pesqueros y marisqueros pueden prolongarse durante varios meses o años [Iniasta, R. & Blanco, J., 2005].



La bahía de Cartagena se encuentra altamente contaminada por el derrame de residuos petrolíferos provenientes de buques y muelles de la zona industrial de Mamonal. Estudios realizados por el CIOH y otras instituciones como el INVEMAR y las Corporaciones Autónomas Regionales entre los años 2001 y 2006 a través de la “RED DE VIGILANCIA PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS DE COLOMBIA”, reportaron Zonas marinas de la costa Caribe colombiana donde los niveles de hidrocarburos superan los 10 µg/L, como es el caso de estaciones ubicadas en la desembocadura del Canal del Dique, frente al emisario submarino de Cartagena (Bahía de Cartagena), niveles atribuidos al alto movimiento portuario del área. Asimismo se pudieron observar concentraciones de 9,91 µg/L para HDD cercanos al límite permisible, en la estación ubicada en la boya de señalización No. 6 frente a COTECMAR en la Bahía.

9.6 PROTECCIÓN DEL MEDIO MARINO (dragados)

Durante la investigación acerca de normativas internacionales utilizados para la protección al medio marino, se encontró que una gran parte de países, (incluido Colombia y otros países latinoamericanos), se han vinculado a el *convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de residuos y otros materiales* (London Dumping Convention) de la organización marítima internacional (IMO), con el fin de promover el control efectivo de todas las fuentes de contaminación del ambiente marino y proporciona lineamientos para la evaluación y disposición del material producto de dragado.

Generalmente el material dragado de las obras marítimas y portuarias se constituye de gravas, arena, arcilla y limos y para su vertimiento muchas veces se elige un sitio profundo alejado de la costa en donde no se provoquen arrastres litorales o se utiliza como relleno en lugares donde se pretende ampliar terrenos para futuras instalaciones. Sin embargo cuando se trata de material dragado de zonas portuarias es necesario tener en cuenta el posible impactos de contaminación debido a los componentes que comúnmente se encuentran en el lecho de estos



lugares, producto de la actividad portuaria, dentro ellos se enumeran los pesticidas, plomo, compuestos organohalogenados, mercurio, carbón, hidrocarburos, arsénico, entre otros.

En algunas ocasiones una solución viable para disponer de estos residuos es su entierro en el fondo del mar y una capa de sedimento limpio, seleccionando zonas especiales como abióticas o islas artificiales (INGENIERÍA MARÍTIMA Y PORTUARIA).

9.7 CONSIDERACIONES DE CARGA

El comportamiento de las cargas que actúan sobre el muelle, rigen su diseño y dimensionamiento.

9.7.1 Carga por arrastre de corrientes

Cuando un fluido de velocidad v choca contra una superficie, se tiene transformación de carga de velocidad en carga de presión.

Si,

F: Fuerza ejercida por las corrientes

A: Área de la proyección del casco del bote y de la estructura en la dirección perpendicular al flujo.

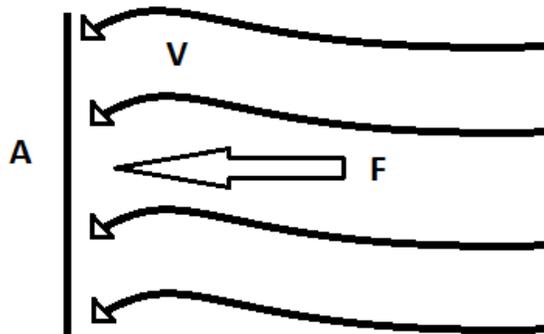
P: Densidad del agua

Cd: Coeficiente de arrastre

V: Velocidad de la corriente



Ilustración 9.7.1 Choque de un fluido



Fuente: Ingeniería marítima y portuaria.

Teóricamente,

$$F = \frac{Cd \times A \times \rho \times V^2}{2}$$

De acuerdo con las recomendaciones de la P.I.A.N.C. (Permanent International Association of Navigation Congresses), se puede aplicar la siguiente expresión:

Corriente actuando perpendicularmente al eje de la embarcación.

$$P = 1.6 \times 10^{-3} AV^2$$

En donde:

P: Fuerza contra la superficie expuesta en Ton.

A: Área de la superficie mojada ft².

V: Velocidad de la corriente en nudos.

9.7.2 Carga producida por el impacto de la embarcación al atracar

Las cargas laterales más importantes que debe soportar un muelle son las debidas al impacto de las embarcaciones, las cuales se pueden presentar en dos formas.

- Atrache bajo condiciones normales: Para estos casos basta con considerarse las fuerzas del viento.
- Atrache accidental: Ocurren en condiciones no normales o excepcionales.



Diseñar un muelle que sea capaz de soportar colisiones en proa, popa u otra condición, sin que sufra daño alguno, es económicamente injustificable.

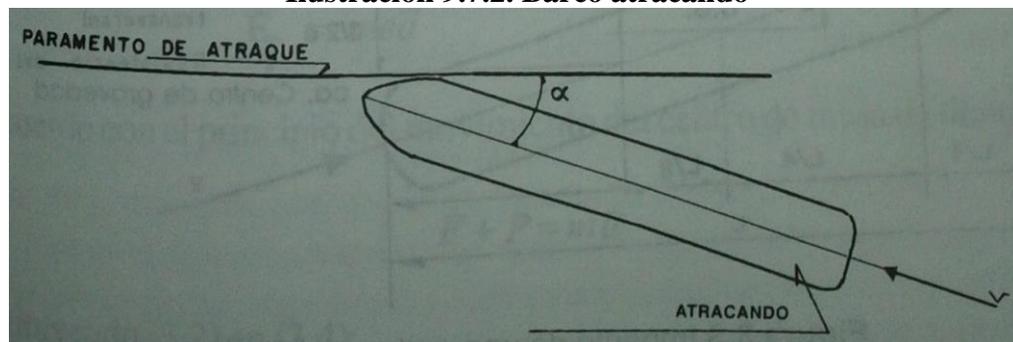
Para ello es necesario un análisis de la estabilidad de los muelles teniendo en cuenta las siguientes variables.

- Determinación de la dirección y magnitud del impacto.
- Determinación de proporción de energía cinética transmitida por la embarcación y absorbida por el muelle y las defensas, durante el impacto.
- Determinación de la cantidad de energía que absorben las defensas.
- Determinación de los esfuerzos del muelle debido a los impactos laterales recibidos.

Las maneras posibles para que una embarcación atraque y haga contacto con el muelle u otra estructura son:

- Impacto en punta.
- Impacto de lado o paralelo a la banda de atraque.
- Por el cuarto de la embarcación con cierto ángulo con la estructura.

Ilustración 9.7.2. Barco atracando



Fuente: Ingeniería marítima y portuaria.



Excepto en caso de accidentes, es muy poco común que una embarcación llegue en punta. En aguas quietas como la de la Bahía de Cartagena generalmente el contacto ocurre con cierto ángulo.

La energía cinética de la embarcación es:

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

Dónde:

E: Energía cinética

m: Masa total de la embarcación sumado su peso propio y el de la carga

V: velocidad de la embarcación normal al muelle

La rigidez de un muelle se calcula en las dos direcciones principales en planta. Para ello se aplican cargas ejemplares en ambas direcciones, se miden los desplazamientos y se halla la relación de la misma a través de las siguientes formulas:

$$k_{mx} = F/X$$

$$k_{mz} = F/Z$$

Después de muchas investigaciones sobre impactos oblicuos en las embarcaciones recomiendan para un valor de 10 grados, una velocidad normal a la banda de atraque no menor a 0.15 ft/s.

Las fuerzas máximas producidas por el atraque en los sentidos X y Z, se determinan igualando la energía cinética transmitida por la embarcación con la energía de deformación del muelle, así:

$$F_{maxx} = V_{atx} \cdot \sqrt{m \cdot k_{mx}}$$

$$F_{maxz} = V_{atz} \cdot \sqrt{m \cdot k_{mz}}$$

Dónde:



Vatx = Velocidad de atraque en el sentido x.

Vatz = Velocidad de atraque en el sentido z.

m = Masa de la embarcación de diseño.

kmx = Rigidez de la estructura en el sentido x.

kmz = Rigidez de la estructura en el sentido z.

Existe suficiente evidencia para demostrar que la energía cinética en aguas quietas, transmitida a la estructura, no es mayor de 0.5 de la total en un impacto en punta. Se asume en los cálculos que la mitad de la energía cinética la debe absorber la defensa, y la otra mitad es absorbida por el barco y por el agua.

Por lo tanto la fuerza efectiva sobre la estructura es:

$$F_{\text{maxx}} (\text{Efectiva}) = F_{\text{maxx}} (\text{Efectiva}) / 2$$

$$F_{\text{maxz}} (\text{Efectiva}) = F_{\text{maxz}} (\text{Efectiva}) / 2$$

9.7.3 Cargas de viento

A menos que se disponga de un método de análisis similar o más exacto, las fuerzas de viento se calculan de acuerdo al capítulo B.6 y se incluyen en el análisis y diseño completo según la **sección B.6.4.2 del NSR-10**.

Teniendo en cuenta que el agua y el viento son fluidos, las cargas ejercidas por este último se pueden analizar de igual manera a las cargas por arrastre producidas por las corrientes, donde:

F: Fuerza ejercida por el viento.

A: Área de la proyección del casco del bote y de la estructura en la dirección perpendicular al flujo.

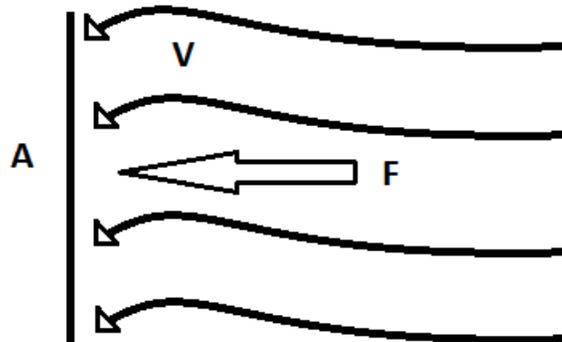
P: Densidad del aire

Cd: Coeficiente de arrastre

V: Velocidad del viento



Ilustración 9.7.3 Choque de un fluido



Fuente: Ingeniería marítima y portuaria.

Teóricamente,

$$F = \frac{Cd \times A \times \rho \times V^2}{2}$$

De acuerdo con las recomendaciones de la P.I.A.N.C. (Permanent International Association of Navigation Congresses), se puede aplicar la siguiente expresión:

Viento actuando perpendicularmente al eje de la embarcación.

$$P = 1.6 \times 10^{-6} L(H - D + 15)V^2$$

En donde:

P: Fuerza contra la superficie expuesta en Ton.

L: Eslora en la línea de flotación en ft.

H: Altura de la cubierta principal en ft.

D: Calado medio en ft.

V: Velocidad del viento en nudos.

9.7.4 Cargas sísmicas

Cabe resaltar que la NSR-10 no incluye a los muelles dentro de las edificaciones a considerar en un análisis sísmico debido a que no es de ocupación por seres humanos, es



posible extrapolarlos como una edificación de uso humano para un respectivo análisis sísmico.

La fuerza horizontal aplicada en los muelles generalmente varía entre 0.025 y 0.20 la aceleración de la gravedad g multiplicada por la masa. La fuerza también puede expresarse como 0.025 y 0.20 del peso respectivamente.

Se recomienda la determinación de las fuerzas sísmicas que actúan en la dirección longitudinal y transversal del muelle, a partir del método espectral del modo fundamental, el cual se basa en la hipótesis que supone que el muelle vibra según el primer modo de vibración, o modo fundamental

9.7.5 Cargas gravitacionales.

Estas consisten en el peso propio de la estructura, o carga muerta, y la carga viva que usualmente consiste en una carga uniforme y una carga concentrada transmitida por las ruedas de los camiones, carros de ferrocarril, o locomotoras, grúas para el manejo de cargas y equipos. La carga viva uniforme puede variar entre 250 a 1000 lb/ft² en el área de la cubierta. La cifra más pequeña se usa para muelles petroleros y estructuras similares que manejan materiales a granel por medio de bandas transportadoras o tuberías y en donde la carga de tipo general es secundaria. La carga viva uniforme controla el diseño de los pilotes, mientras que las cargas concentradas de las ruedas, incluso las del impacto, usualmente controlan el diseño de la losa.

9.8 CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MUELLES

A continuación se describen especificaciones técnicas de construcción para el mantenimiento y reparación de muelles portuarios en Cartagena.

PROCEDIMIENTOS:



Para tener en cuenta que los daños que se presentan varían en cada uno de los Muelles, es decir, algunos presentan mayor o menor deterioro que otros. Para los trabajos de rehabilitación estructural se sugiere el siguiente procedimiento:

- Demolición parcial ó remoción de concretos afectados.
- Limpieza del acero corroído con WetBlasting o HidroBlasting y protección con un inhibidor tipo Epocem.
- Reemplazo del acero de refuerzo por pérdida de sección.
- Restitución de las secciones de concreto demolidas con Concreto fluido de reparación y/o Mortero de reparación estructural.
- Limpieza del concreto con WetBlasting ó HidroBlasting y recubrimiento de protección.
- Limpieza de los pilotes de concreto con WetBlasting ó HidroBlasting y recubrimiento de protección en zonas de salpicadura (splash) y 50 cm bajo el nivel inferior de mareas (nim).
- Limpieza con WetBlasting o HidroBlasting y protección con resina epóxica de Tablestaca metálica.

Cada una de estos procedimientos hace parte de lo que comúnmente se lleva a cabo para labores de conservación y mantenimiento en estructuras marinas como los muelles. A continuación se describen más detalladamente:

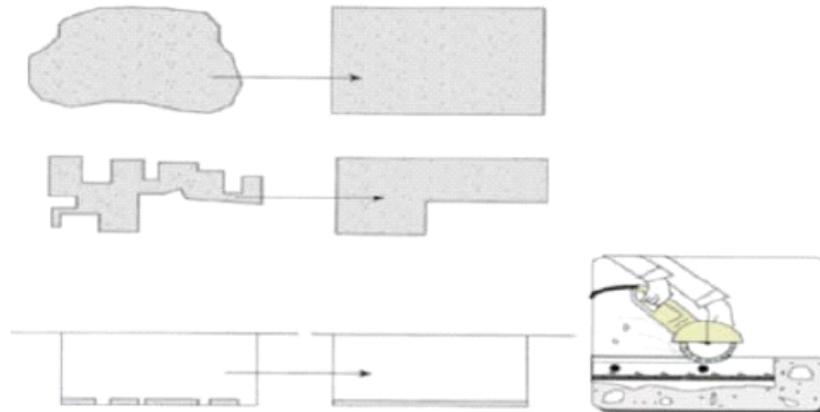
9.8.1 Demolición parcial o remoción de concretos afectados

Las aéreas donde se encuentren concretos en estado de deterioro, debido a la Corrosión del acero de refuerzo o por defectos del concreto, por derivaciones Mecánicas (impacto, vibración, abrasión, sobrecarga, sismo), Químicas (álcali-agregado, acción bacteriana) y Físicas (temperatura, eflorescencias, lixiviación, expansión, erosión), deben removerse ó demoler. Para tal efecto debe realizarse la secuencia siguiente:



1. Conformar un perímetro de forma regular en la superficie a reparar mediante corte o picado según el siguiente esquema.

Ilustración 9.8.1 Geometría de área a explanar



Fuente: SPRC.

2. Eliminar todo el concreto deteriorado, mal adherido, contaminado o carbonatado mediante picado (demolición con martillos neumáticos) hasta llegar a concreto sano y firme.
3. Solo debe ser removido el concreto deteriorado, fisurado o aflojado por efecto de la corrosión del refuerzo y si la profundidad media de carbonatación no sobrepasa más de 20 mm por detrás del refuerzo más superficial.
4. En zonas donde la profundidad media de carbonatación ha sobrepasado más de 20 mm por detrás del refuerzo más superficial, el concreto debe ser retirado o removido hasta la superficie del refuerzo externo.
5. En caso de corrosión por ataque químico la remoción dependerá de la profundidad del ataque. La remoción es mediante picado hasta rodear completamente las armaduras en un espesor o luz entre barras y concreto de mínimo 20mm. ó de 6mm mayor que el tamaño máximo del agregado, el que sea mayor.

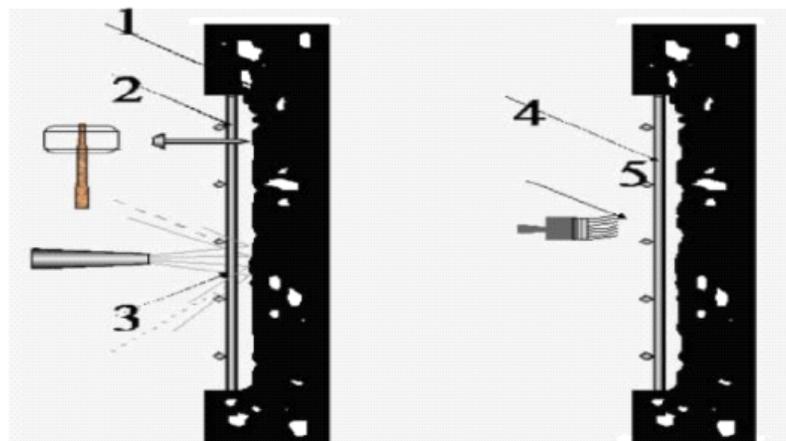


6. La resistencia de adherencia a tensión directa del sustrato preparado debe ser mínimo de 1.5 MPa (con falla del sustrato) según ASTM C-1583.

9.8.2 Limpieza de acero corroído con wetblasting y protección con un inhibidor tipo epocem.

Para todos los elementos de concreto reforzado que se intervengan en los muelles, tales como: vigas cabezal, vigas de borde, pantallas, losas, pilotes y tablestaca en concreto, los aceros que se encuentren expuestos, descubiertos por remoción de concretos y los aceros remplazados por pérdida de sección, deben ser protegidos de manera directa por un inhibidor de corrosión que proporcione un recubrimiento de protección a la corrosión, cementoso con contenido de resina epóxica más inhibidor de corrosión y puente de adherencia.

Ilustración 9.8.2 Limpieza y protección de acero



Fuente: SPRC.

A todos los aceros descubiertos se le hace una preparación de superficie adecuada ó limpieza, mediante un equipo de WetBlasting (chorro de arena húmedo).

Para el WetBlasting se utiliza Arena seca y cernida que cumpla con los requerimientos de abrasión y tamaño (Modulo de finura < 2) y agua potable (no se puede utilizar agua de mar ó industrial).



Inmediatamente se termina el WetBlasting, se procede a proteger el acero con un Inhibidor de corrosión tipo Epocem, con brochas ó con la mano enguantada.

9.8.3 Reemplazo del acero de refuerzo por pérdida de sección

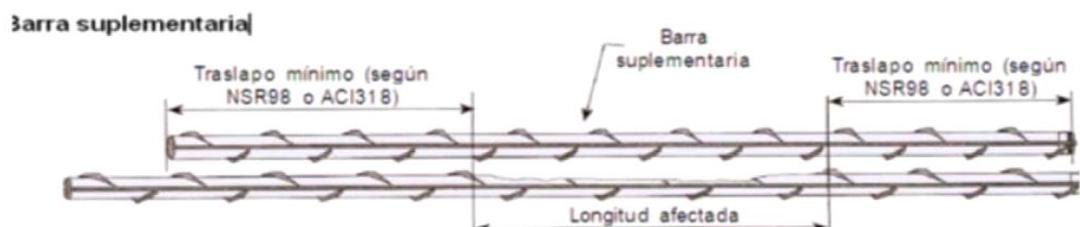
Los aceros que se encuentre con pérdidas de sección significativas mayor o igual 25% de su sección y/o con presencia de corrosión severa, deben ser valorados y reemplazados siempre que sea necesario, basados en un análisis de capacidad de resistencia del refuerzo. Las barras afectadas deben ser descubiertas en toda su longitud afectada más la longitud de traslapo mínimo exigido por la NSR-10 y a una profundidad de al menos 2.0 cm por debajo de las barras, seguidamente se retiran y rempazan por un acero corrugado del mismo diámetro que debe cumplir con las normas de calidad que establece la NSR-10. Este acero antes de colocarse deberá ser previamente protegido con el Inhibidor de corrosión Epocem.

Los aceros que no requieran ser cambiados, deben sometidos a una limpieza de la manera descrita anteriormente.

En zonas donde la profundidad media de carbonatación ha sobrepasado más de 20 mm por detrás del refuerzo más superficial, el concreto debe ser retirado o removido hasta la superficie del refuerzo externo. Es muy importante eliminar toda microfisuración causada por el proceso de remoción antes de realizar la reparación y protección.

Se debe también tener en cuenta en esta actividad si se necesita anclar ó traslapar parte del acero.

Ilustración 9.8.3 Traslapo de acero



Fuente: SPRC.



9.8.4 Restitución de las secciones de concreto demolidas con concreto fluido de reparación y/o mortero de reparación estructural.

Una vez saneado y reemplazado el acero de refuerzo se procede a la implementación para la utilización del mortero de reparación o para la colocación de las formaletas y vaciar el respectivo concreto fluido de reparación. Dependiendo del volumen, del espesor a reemplazar y de si los elementos están sobre cabeza o en superficies verticales o inclinadas.

Para todos los casos (Mortero de reparación o Concreto fluido de reparación de 2ª etapa), la pega del concreto viejo con el nuevo se hará con una resina o pegante epóxico estructural de fraguado lento que permita colocar el concreto o mortero en un lapso de tiempo entre 4 y 5 horas. El puente de adherencia debe ser continuo y cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C881 para adhesivos epóxicos.

El curado en lo posible con abundante agua con sacos de fique y/o también se puede emplear un compuesto curador conforme ASTM C 309.

Independiente del producto a utilizar para restituir la sección de concreto demolido se deben anclar (si se requiere estructuralmente) unos elementos de transmisión de esfuerzos para garantizar la pega “mecánica” entre los dos materiales.

Las barras de acero o conectores estructurales deben ser ancladas previo diseño, con un sistema epóxico que cumpla la norma ASTM C 881 tipo IV.

9.8.5 Limpieza del concreto con wetblasting o hidroblasting y recubrimiento de protección.

La capa contaminada y afectada, presente en las vigas, pilotes y losas de los sitios por efectos del ataque del agua de mar (Ion-Cloruro) y la carbonatación, presentan una capa de mediana resistencia mecánica por ataque químico, ésta debe ser retirada hasta encontrar concreto sano



Para la limpieza o preparación de la superficie de concreto, existen dos alternativas, la primera es un equipo de WetBlasting o chorro de arena húmedo, con una presión, entre 90 y 120 psi, con la arena del tipo utilizado en Sand Blasting (de la misma calidad, Modulo de Finura y en lo posible con matriz de cuarzo).

Dada la posibilidad de que la capa superficial esté reblandecida por del ataque del agua de mar (Ion-Cloruro) y la carbonatación, se estima que se retire una entre 0,5 y 1,5mm de profundidad en toda el área. Si en la superficie de concreto hay partes sueltas muy grandes, estas deben ser removidas por medios mecánicos de impacto.

La limpieza se debe iniciar de arriba hacia abajo, procurando mantener una presión suficiente para remover las partículas sueltas. Preferiblemente mover en círculo la boquilla para una adecuada y eficaz limpieza de la superficie.

9.8.6 Limpieza de los pilotes de concreto con wetblasting o hidroblasting y recubrimiento de protección en zonas de salpicadura (splash) y 50cm bajo el nivel inferior de mareas (nim).

Los pilotes requieren que se le haga primero una limpieza manual con raqueta o cualquier otro elemento que sirva para eliminar los crustáceos incrustados antes de preparar la superficie de concreto para recibir el recubrimiento protector.

Tanto la preparación de superficie como el recubrimiento protector de los concretos se debe hacer en las zonas de salpicadura (splash) y 0,5ml bajo el nivel bajo de mareas.

Posterior a limpieza de los pilotes y al sellado de fisuras y/o grietas; se aplica un sistema de protección epóxico aplicable en elementos de concreto bajo agua, con un alto porcentaje de sólidos, libre de solventes, con alta resistencia química, de acuerdo al sistema ó recomendación del fabricante.



El tiempo entre la preparación de superficie y la aplicación de la resina de protección debe ser mínimo, con el fin de evitar que a la superficie recién lavada se le adhieran algas ó elementos marinos que puedan afectar la adherencia del recubrimiento.

El recubrimiento debe exceder los requerimientos dados en la norma EN 1504-2 [14], u otro estándar reconocido, para resistencia a ataque químico severo. Se aplican en dos capas cada una con espesor mínimo de 0.6 mm (20 mils)

9.8.7 Otros Métodos

9.8.7.1 Protectosil Cit

Ilustración 9.8.7.1 Protectosil Cit



Fuente: SPRC

El Protectosil CIT consiste en un tratamiento a base de silano organofuncional e inhibidor de corrosión que permite una doble actuación. Su empleo ofrece las siguientes ventajas:

- Inhibe la corrosión activa producida por carbonatación o cloruros interrumpiendo la corriente electrolítica. Este no solo funciona como sistema preventivo de posibles



ataques sino también de aquellos que se están produciendo en el interior de la estructura.

- Protege la estructura impidiendo la entrada en la estructura de cloruros, agua y demás agentes agresivos.
- Por su composición se une químicamente al hormigón armado, no siendo un simple tratamiento superficial potencialmente lavable.

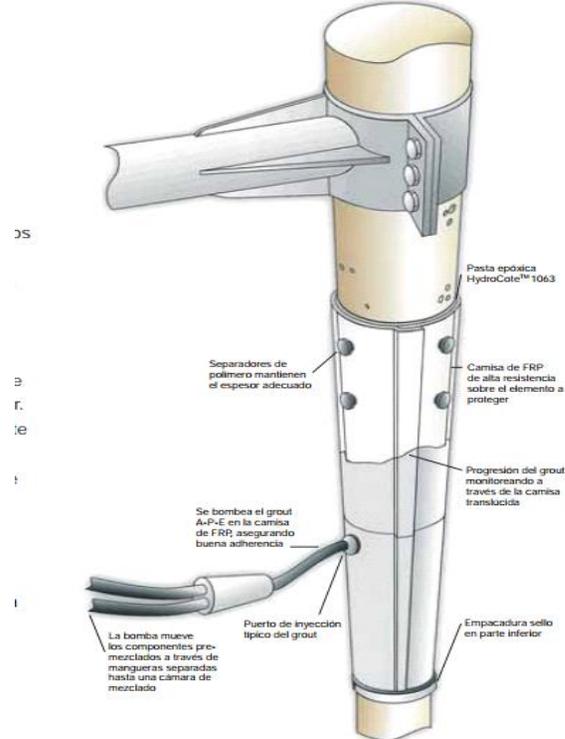
9.8.7.2 Encapsulación avanzada de pilotes

Las fuerzas de la naturaleza actúan constantemente y sin cesar. Esto se evidencia aún más en el ambiente marino donde la corrosión, el oleaje, organismos marinos, y otras fuerzas actúan perpetuamente. El impacto del deterioro puede ir desde un daño meramente estético hasta afectar el servicio de la estructura, incluyendo pérdida de la sección y reducción de la capacidad de carga. Si los daños son severos incluso se puede llegar al abandono de la estructura.

Como Trabaja: Inicialmente se prepara la superficie a proteger, removiendo las incrustaciones marinas o cualquier de recubrimiento antes aplicado. Se coloca una camisa reforzada con fibra de vidrio hecha a la medida sobre el elemento a proteger y se bombea en la camisa grout epóxico desde la parte inferior. El grout se mezcla y bombea con un equipo especialmente diseñado para mantener los componentes reactivos del grout separados hasta justo antes de que el grout penetre en la camisa.



Ilustración 9.8.6.2. Encapsulación avanzada de pilotes



Fuente: SPRC

9.8.7.3 Protección catódica

Este procedimiento tiene como fundamento la polarización, a potenciales más negativos, de la superficie metálica hasta alcanzar un grado de polarización, en el cual se acepta que dicha superficie metálica es inmune a la corrosión.

9.9 CONDICIONES QUE AFECTAN EL DRAGADO

Los principales elementos que afectan las condiciones de dragado son los siguientes:

9.9.1 Vientos

Siendo este generador de corrientes marinas y el principal generador del oleaje, afecta directamente el flujo de los materiales del lecho marino.



Sin embargo Cartagena cuenta con el privilegio de que gran parte de su zona costera se encuentra refugiada en el interior de la bahía y protegida por la isla de Tierrabomba, por lo cual estos aspectos se deben tener en cuenta para casos particulares, cuando se construyan muelles que encuentran en la zona costera que está en contacto directo con el mar caribe.

9.9.2 Mareas

Particularmente en Cartagena los caudales aportados por el canal del dique a la Bahía influyen en la marea, aunque no mucho.

La variación de las mareas ocasiona corrientes de agua en diferentes direcciones que deben ser consideradas en cualquier trabajo de dragado, con un cálculo detallado de las fluctuaciones durante diferentes épocas del año, teniendo en cuenta que las mismas influyen sobre la profundidad total de la franja en la cual se llevan a cabo las labores muellísticas y portuarias.

Un erróneo conocimiento del comportamiento de las mareas podría generar problemas de tolerancia en las profundidades del área operativa, provocando así la necesidad de redragar la zona para llegar a la profundidad permisible.

9.9.3 Corrientes

Las corrientes suelen afectar de forma directa e indirecta el dragado. La primera corresponde al transporte de sedimentos generado por el desplazamiento de las masas de agua a determinada velocidad y rumbo. En Cartagena, los muelles de la Bahía reciben aportes de sedimentos fluviales, en proporción a la distancia a la que se encuentren de la desembocadura del canal del dique.

La segunda corresponde a las labores de mantenimiento; es decir cuando se llevan a cabo trabajos de dragados en la zona. Suelen presentarse problemas cuando la dirección de la draga y la corriente sean diferentes. Cuando la corriente es en sentido transversal a la draga de



succión con cortador, se presentan problemas en el winche que abanica la draga, debido a las presiones generadas por la corriente.

9.9.4 Oleaje

El oleaje al igual que las corrientes genera problemas debido arrastre de sedimentos y para labores de mantenimientos.

El primero es un fenómeno por medio del cual las partículas sólidas se transportan a lo largo de la playa, principalmente entre la línea de playa y la rompiente debido a la energía cinética de las olas.

En el segundo, de la magnitud del oleaje depende la dificultad o la imposibilidad para efectuar labores de dragado en el muelle. Es decir que el oleaje disminuye considerablemente el rendimiento en las labores de mantenimiento, incluso en algunas ocasiones puede provocar daños o roturas al sistema de dragado.

Como se había mencionado anteriormente, el oleaje es uno de los elementos oceanográficos que menos debe preocupar a un diseñador de muelles en Cartagena, ya que gran parte de zonas potenciales para construir estas estructuras marítimas están refugiadas por la Bahía de Cartagena.

9.9.5 Topohidrografía

Esta es una de las condiciones que más afecta el dragado, teniendo en cuenta las características del relieve marino de la zona; es decir la forma del fondo con sus pendientes y sinuosidades. Existen situaciones en las cuales el difícil acceso a esquinas o rincones complica las labores de dragado.



10. CONCLUSIONES

- Los muelles en lo posible deben construirse en zonas abrigadas, con el fin de proteger las embarcaciones de las condiciones de viento y del mar tales como olas y corrientes, el emplazamiento del muelle debe realizarse de tal manera que se tengan las condiciones más favorables de viento, olas y corrientes pues es sumamente importante para la seguridad de la embarcación y del muelle.
- Se deben analizar todas las condiciones que ofrece la posición geográfica del lugar proyectado para la construcción de un muelle, pues es muy importante al momento de realizar el diseño, ya que con esta se asegura la perdurabilidad en el tiempo de la obra y la operación en óptimas condiciones de la misma.
- Las estructuras de concreto armado ubicadas en el mar o en zonas cercanas a la costa, presentan frecuentemente deterioros por causa de la corrosión, a pesar de que el cemento, agregado y agua cumplen con las exigencias de las especificaciones técnicas y el diseño de concreto se realiza fundamentalmente en función de la durabilidad y resistencia, por ello son importantes las oportunas labores de mantenimiento que aseguren la durabilidad y óptimas condiciones de operatividad un muelle durante su vida útil.
- Para proteger al acero de refuerzo de la corrosión es pintar la armadura con epóxico, garantizando la adherencia del concreto, el concreto debe ser de baja permeabilidad para lograr un retraso considerable del inicio de la corrosión, es indispensable un mantenimiento periódico de los pilotes para detectar alguna alteración de la resistencia y resanarla a la brevedad en caso de deterioro.



- La contaminación generada por la actividad portuaria de es uno de los tres grandes principales problemas que sufre la Bahía de Cartagena, a raíz de derrames, vertimiento y traslado de sustancias no inherentes al medio.
- La posición geográfica y forma y profundidad de la Bahía de Cartagena, ofrece una gran variedad de ventajas frente a variables meteomarítimas y morfológicas tenidas en cuenta en el diseño de un muelle.
- Este trabajo pretende ser un estímulo para los estudiantes de ingeniería civil a profundizar en los temas relacionados al diseño, construcción y operación de muelles.



11. RECOMENDACIONES

- Se debe promover la investigación científica y tecnológica relacionada a la infraestructura portuaria, para disminuir la gran brecha que nos separa a nivel mundial y a nivel latinoamericano.
- El tema de cimentaciones sobre pilotes y estructuras de pilotes en general debe ser abordada y estudiada más afondo, pues es un amplio tema y existen pocos profesionales en ingeniería civil especializados en el mismo.
- Existen tecnologías de construcción y mantenimiento de muelles costosas que deberían ser implementadas localmente, teniendo en cuenta que Cartagena es una ciudad que se ha posicionado como una de los principales puertos de Latinoamérica y por lo tanto debe estar a la vanguardia de los grandes puertos del mundo.
- Es importante conocer a qué tipo de información se puede acceder en las bases de datos de las entidades de investigación de la ciudad, ya que en algunos casos es necesario compensar económicamente a la entidad para poder adquirirla.



12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guillermo Macdonel Martinez: “Ingeniería marítima y portuaria”. Consultado el 12 de Noviembre de 2013.
- Puerto de las Américas ZF: “Cartagena Logística”. Consultado el 20 de abril 2013.
- Karina Acosta: “Cartagena, entre el progreso industrial y el rezago social”. Consultado el 20 de abril 2013.
- ASCE: “Floating port - Design, Construction, and Test”. Consultado el 20 de Febrero 2014.
- International chamber of shipping: “El transporte marítimo y el comercio mundial”. Consultado el 19 de abril 2013.
- Entropy causes of the environmental misalignment: “La contaminación y sus efectos en la bahía de Cartagena de Indias, Colombia”. Consultado el 19 de abril 2013.
- Consorcio Incoplan - Parsons: “Diagnóstico ambiental de las zonas de manejo portuario”. Consultado el 13 de abril 2013.
- Revista virtual la otra opinión: “Puertos marítimos en el desarrollo del transporte”. Consultado el 4 de Marzo 2013.
- Alain Ferrand: “Arromanches”. Consultado el 13 de Marzo 2013.
- Fundación ICA: “Muelle Petrolero de Guaymas”. Consultado el 29 de Marzo 2013.
- Fundación ICA: “Muelle Punta Langosta”. Consultado el 29 de Marzo 2013.
- Portal Dialnet: “Dique flotante de abrigo realizado en Algeciras para la ampliación de puerto La Condamine en Mónaco”. Consultado el 2 de Abril 2013.
- Periódico El Universal: “Adjudican muelle de Puerto Bahía”. Consultado el 25 de Abril de 2013.
- ASCE: “Modeling passing vessels and moorings in port design and operation”. Consultado el 1 de Enero del 2014.



- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO): “Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros”. Consultado el 1 de Marzo del 2013.
- Universidad Politécnica de Valencia: “El Cubipodo, nuevo elemento para la construcción de diques”. Consultado el 28 de Marzo 2013.
- José Manuel González Herrero: “Tipos y Funciones de las Obras de Atraque y Amarre”. Consultado el 1 de Marzo del 2013.
- Pablo Molinero Guillén: “Construcción de grandes infraestructuras portuarias a mar abierto en el norte de España”. Consultado el 9 de Marzo del 2013.
- Fernando Arancibia: “Dique Rompeolas Flotante”. Consultado el 5 de abril del 2013.
- Luz María Villa Roldan: “Informe de análisis de la infraestructura portuaria marítima y fluvial en el país en el año 2010”. Consultado el 5 de abril del 2013.
- Pedro B. Márquez: “Construcción de puertos”. Consultado el 5 de abril del 2013.
- Carles Rúa Costa: “Los puertos en el transporte marítimo”. Consultado el 12 de abril del 2013.
- ASCE: “Planning and Design Guidelines for Small Craft Harbors”. Consultado el 9 de Mayo del 2013.
- Climate Change 2007: “The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press”. Consultado el 9 de Abril del 2014.
- ASCE: “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”. Consultado el 20 de Agosto del 2013.



ANEXOS