

**Análisis técnico
económico de dos
alternativas de diseño de
los duques de alba de la Terminal
de Transbordadores de Playa
Naranjo**



Resumen

This project has the objective of conduct a study of the current status of the docking structures of the Ferry Terminal in Playa Naranjo and make a design of the berthing dolphins necessary for the safe operation of the terminal.

To achieve these objectives, it was made a description of the main concepts that apply in this type of project; it was covered topics on design of port infrastructure and its dependence on physical and control factors. It was convenient to describe the different elements of the ports and physical conditions of the site (environmental characterization) and levels of safe and proper operation that has to be considered in determining the design parameters.

Having identified the key design parameters such as the ship of the project, the soils present on site and oceanographic and meteorological conditions, it was proceeded to the respective design of berthing dolphins. Two different alternatives were evaluated, the design loads were calculated and the main theories of design applied. Also, there was a graphical representation of each alternative (preliminary schemes) and evaluation of the costs.

With the results, a multi-criteria analysis was performed to select the most feasible alternative. The construction process was evaluated as well as the process of inspection and maintenance and the cost of each alternative. From this process an alternative is selected, this being which underwent a total design, including construction drawings and technical specifications.

Keywords: Port infrastructure - Dolphins - Docking structures - Playa Naranjo

El presente trabajo tiene como fin presentar un estudio de la condición actual de las estructuras de atraque de la Terminal de Transbordadores de Playa Naranjo y realizar un diseño de los duques de alba necesarios para obtener una operación segura en la terminal.

Para lograr estos objetivos, se realizó una descripción de los principales conceptos que se aplican en este tipo de proyectos; se abarcaron temas sobre diseño de infraestructura portuaria y su dependencia de factores tanto físicos como de control en su determinación. Para ello fue conveniente describir los diferentes elementos que conforman los puertos, así como las condiciones físicas del emplazamiento (caracterización del medio) y niveles de operación segura y adecuada, que se deben considerar en la determinación de los parámetros de diseño.

Una vez determinados los principales parámetros de diseño tales como la embarcación del proyecto, los suelos presentes en el sitio y las condiciones oceanográficas y meteorológicas, se procedió al diseño respectivo de los duques de alba. Se evaluaron dos alternativas distintas, se estimaron las cargas y se aplicaron las principales teorías de diseño. Asimismo, se realizó una representación gráfica de cada alternativa (esquemas preliminares) y se calcularon los costos.

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis multicriterio con el fin de seleccionar la alternativa más factible. Para ello se evaluó el proceso constructivo, la facilidad de inspección y mantenimiento y el costo de cada alternativa. A partir de este proceso se seleccionó una alternativa, siendo esta a la que se le realizó un diseño integral, incluyendo planos constructivos y especificaciones técnicas.

Palabras clave: Infraestructura portuaria - Duque de alba - Estructuras de atraque - Playa Naranjo

Análisis técnico económico de dos alternativas de diseño de los duques de alba de la Terminal de Transbordadores de Playa Naranjo

Análisis técnico económico de dos alternativas de diseño de los duques de alba de la Terminal de Transbordadores de Playa Naranjo

ANTHONY CÓRDOBA VILLALOBOS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Agosto de 2011

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

| | |
|---|----|
| PREFACIO..... | 1 |
| RESUMEN EJECUTIVO..... | 2 |
| INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 7 |
| METODOLOGÍA | 20 |
| ESTUDIO TÉCNICO: TERMINAL DE CABOTAJE DE PLAYA NARANJO | 21 |
| DESARROLLO DE LAS PROPUESTAS..... | 36 |
| RESULTADOS | 75 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS | 83 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 88 |
| APÉNDICES | 90 |
| ANEXOS | 91 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 92 |

Prefacio

La Terminal de Transbordadores de Playa Naranjo es, junto con la Terminal de Paquera, una de las rutas de cabotaje más importantes de nuestro país. Se estima que cerca de 280.000 pasajeros utilizan este servicio cada año a través del Golfo de Nicoya. Playa Naranjo es una puerta de entrada y salida para el turismo, el comercio y la industria del Golfo de Nicoya, siendo un punto estratégico vital para el desarrollo de la región. Por esta razón es necesario que la infraestructura portuaria sea la óptima en la terminal, con el fin de garantizar un servicio eficiente y seguro a los clientes. Sin embargo, la condición actual de las facilidades de atraque de la terminal es bastante deficiente, con graves problemas estructurales y funcionales. El principal problema son los tres duques de alba con que cuenta la terminal, los cuales han sido gravemente afectados por la corrosión y ausencia de un sistema de defensas que absorba la energía del impacto de las embarcaciones, lo cual se ha traducido en la desintegración total de los elementos y deformaciones excesivas. Este deterioro de los duques ha significado el deterioro progresivo del resto de las facilidades de atraque, ya que han dejado de cumplir su función, lo que afecta la seguridad de los operarios de la terminal y expone a la rampa de acceso a esfuerzos y cargas para las que no está diseñada. El deterioro actual de los duques es atribuible a la falta de mantenimiento y a la falta de un diseño adecuado para dichas estructuras, ya que originalmente estas no fueron diseñadas, solo se soldaron algunos elementos y se hincaron en el lecho marino sin ningún tipo de estudio de suelos. El grado de deterioro es tal que ya no es posible el pensar en reparaciones, lo único que queda por hacer es demoler los duques y reconstruirlos.

Por la seguridad de los operarios de la terminal y de los miles de usuarios que hacen uso de este servicio cada año es indudable que las

facilidades de atraque deben ser renovadas, cumpliendo con altos estándares de calidad y funcionalidad.

Por medio del presente proyecto se pretende diseñar conceptualmente dos propuestas del sistema de atraque de duques de alba, y de ellas escoger una según criterios técnico-económicos y realizar un diseño integral de esta.

Agradecimientos

Se extiende el agradecimiento más sincero a Él por ser mi guía y protector. Se agradece a mis padres por su apoyo incondicional durante todos estos años de estudio, y a mi novia por ser la fuente de inspiración.

Para este proyecto fue de vital importancia contar con la información y colaboración de la Dirección de Infraestructura de la División Marítimo Portuaria del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Se agradece a la Dirección por la oportunidad de realizar este proyecto con ellos.

Se agradece especialmente al grupo de personas cuya colaboración fue imprescindible para poder culminar con éxito este proyecto:

- Ing. Gustavo Rojas M. (Profesor Guía)
- Ing. Henry Alfaro Chavarría (Dirección de Infraestructura. DMP - MOPT)
- Ing. Jorge Mora Gutiérrez. (Director de Infraestructura. DMP – MOPT)
- Ing. Fabricio Mora Vargas (Dirección de Infraestructura. DMP - MOPT)

Resumen ejecutivo

Duques de alba

“Los duques de alba son estructuras diseñadas especialmente para amarrar las embarcaciones o para recibir sus impactos y absorber su energía. En el primer caso se dice que son de amarre y, en el segundo, de atraque. Pueden tenerse duques que cumplan ambas funciones”. (Herrejón, 1979)

El propósito principal de los duques de alba es permitir el atraque de las embarcaciones, de manera que protejan a la estructura principal y esta deba ser diseñada únicamente por cargas verticales y sismo o empujes del terreno en su caso. Los esfuerzos sobre la estructura pueden reducirse mediante el uso de defensas que pueden ser desde almohadas de cables, resortes, piezas de hule, madera, pilotes de madera hasta estructuras sofisticadas de novedosa tecnología.

Generalidades

El servicio de cabotaje marítimo en América Latina está poco documentado. Sin embargo se reconocen dos grandes debilidades en su operación (CCM, 2011):

1) Un déficit de regulación, fiscalización e inversión, lo que afecta la disponibilidad del servicio y la calidad de vida de los habitantes de las zonas de influencia.

2) La escasez de infraestructura portuaria y servicios de transporte marítimo eficientes, que limitan el potencial de desarrollo y la competitividad de estas zonas.

La Comisión Centroamericana de Transporte Marítimos se propuso las siguientes cuatro metas respecto a la promoción del servicio de cabotaje en la región (CCM, 2011):

- Impulsar el desarrollo y aprovechamiento de la infraestructura.

- Promover la creación de tarifas diferenciadas para el cabotaje.
- Desarrollar políticas que conlleven al mejoramiento de los accesos a los puertos y de los equipos suficientes para el servicio de cabotaje.
- Iniciar análisis de costos operativos para este tipo de tráfico.

Con el objetivo de evolucionar según las exigencias del desarrollo regional en materia de cabotaje, el presente proyecto aporta soluciones para la rehabilitación de la infraestructura portuaria de la Terminal de Transbordadores de Playa Naranjo, específicamente las estructuras de atraque de la terminal. Este proyecto representa una oportunidad para la Escuela de Ingeniería en Construcción de participar en el desarrollo del Sector Construcción, en el área específica de proyectos marítimo portuarios.



Figura 1. Terminal de Transbordadores de Playa Naranjo
(Fuente: del Autor)

La Terminal de Transbordadores de Playa Naranjo es, junto con la Terminal de Paquera, una de las rutas de cabotaje más importantes de nuestro país. Se estima que cerca de 280.000 pasajeros utilizan este servicio cada año a través del Golfo de Nicoya. Playa Naranjo es una puerta de entrada y salida para el turismo, el comercio y la industria del Golfo de Nicoya, siendo un punto estratégico vital para el desarrollo de la región.

Por esta razón es necesario que la infraestructura portuaria sea la óptima en la terminal, con el fin de garantizar un servicio eficiente y seguro a los clientes. Sin embargo, la condición actual de las facilidades de atraque de la terminal es bastante deficiente, con graves problemas estructurales y funcionales. El principal problema son los tres duques de alba con que cuenta la terminal, los cuales han sido gravemente afectados por la corrosión y ausencia de un sistema de defensas que absorba la energía del impacto de las embarcaciones, lo cual se ha traducido en la desintegración total de los elementos y deformaciones excesivas. Este deterioro de los duques ha significado el deterioro progresivo del resto de las facilidades de atraque, ya que han dejado de cumplir su función, lo que afecta la seguridad de los operarios de la terminal y expone a la rampa de acceso a esfuerzos y cargas para las que no está diseñada. El deterioro actual de los duques es atribuible a la falta de mantenimiento y a la falta de un diseño adecuado para dichas estructuras. El grado de deterioro es tal que ya no es posible el pensar en reparaciones, lo único que queda por hacer es demoler los duques y reconstruirlos.



Figura 2. Deterioro de duques de alba actuales
(Fuente: del Autor)

Este proyecto tuvo como fin proponer dos alternativas de diseño conceptuales para la rehabilitación de los duques de alba de la terminal; y escoger con base en criterios técnicos y económicos, la alternativa más factible. A la alternativa elegida se le realizó un diseño más completo (no pudiendo ser definitivo debido a la ausencia de información geotécnica), con la correspondiente elaboración de planos constructivos y especificaciones técnicas. Se presenta también un plan de inspección y mantenimiento cuyo fin es funcionar como guía

para la adecuada conservación de las estructuras propuestas y no repetir así los mismos errores que con las estructuras actuales.

Desarrollo de las propuestas

Se realizó un análisis social, económico y ambiental del proyecto siguiendo las Recomendaciones para Obras Marítimas Españolas. Con base en él se determinó que este proyecto en particular requiere ser diseñado para una vida útil de 25 años. El proyecto se clasificó como de repercusión económica media, ya que sirve al sector económico del turismo, la industria y el comercio, pero a su vez hay dos rutas alternativas de mayor demanda que sirven al Golfo de Nicoya, como lo son la ruta Barrio El Carmen – Paquera y la ruta a través del Puente de la Amistad. El proyecto se clasificó como sin repercusión social y ambiental significativa, debido a que ante una eventual falla la pérdida de vidas o el daño al medio ambiente es poco probable.

Las acciones medioambientales de diseño se obtuvieron con base en un estudio realizado por el Consorcio CCM para la División Marítimo Portuaria del MOPT. Con base en criterios de operatividad, se determinó que el período de retorno de las acciones medioambientales a diseñar debía ser de 25 años.

Por recomendación de la Dirección de Gestión de la División Marítimo Portuaria (MOPT) la embarcación de diseño fue una con las siguientes características:

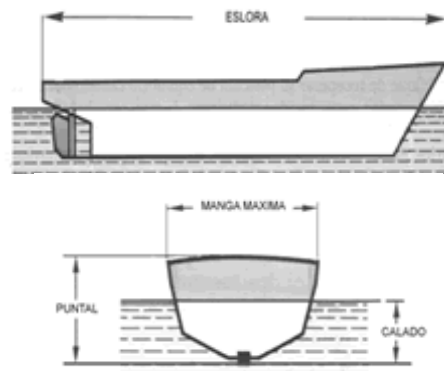


Figura 3. Nomenclatura técnicos de una embarcación.
(Escuela Náutica Neptuno, 2004)

- Eslora: 62,7 m
- Manga: 12m
- Calado: 2,80m
- Tonelaje de Registro Bruto: 1058 ton

Las cargas de diseño se determinaron utilizando normativas pioneras a nivel internacional, como lo son las recomendaciones españolas, japonesas y estadounidenses. Entre estas cargas se incluyen las acciones medioambientales producidas por el viento, las corrientes y el oleaje y las cargas producidas por el atraque y las amarras de la embarcación.

Las estructuras de los duques de alba propuestas estarán expuestas a un ambiente corrosivo severo, por lo que las medidas de protección consideradas fueron las siguientes:

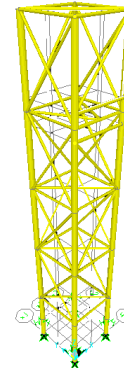
- Acero marino A690
- Sobre espesor de 7,5mm (zona por encima del nivel de marea baja -1m) y 5mm (zona del nivel de marea baja -1m hasta el lecho marino)
- Pintura anticorrosiva
- Protecciones catódicas
- Concreto con una resistencia $f'c$ de 350 kg/cm², según disposiciones del ACI 318S-08.

Ambas propuestas consideran la construcción de dos duques de alba, colocados a 1/3 y 2/3, respectivamente, de la eslora del ferry de diseño. Con el fin de absorber la energía del impacto durante el atraque de las embarcaciones, cada duque debe contar con una defensa SPC 600H FC10 (Shibata, 2002) o una HC 600H J1 (Bridgestone, 1998) o similar; las cuales tienen una fuerza de reacción de 23 ton y una absorción de energía de 7.7 ton-m.

Propuesta No.1

La Propuesta No.1 se inspiró en los duques de alba de la Terminal de Barrio El Carmen. La misma consiste en una estructura tipo marco arriostrado de acero. Las columnas son pilotes de 32,38cm (12,75in) de diámetro y vigas, arriostres horizontales y verticales de 13,97cm (5,5in) de diámetro.

La longitud de hincado de los pilotes bajo el lecho marino debe ser de 36m con el fin de lograr la capacidad requerida de diseño.



SAP2000 v11

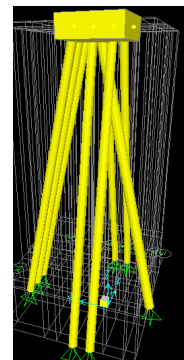
Figura 4. Vista en 3d de la Propuesta No.1

El proceso constructivo consiste, en términos generales, en la construcción de la superestructura del duque en tierra, y posteriormente, el izaje y colocación final de la misma sobre cuatro pilotes hincados previamente en el lecho marino.

El costo total de esta propuesta es de \$427.000,00.

Propuesta No.2

La Propuesta No.2 consiste una estructura tipo péndulo invertido. La estructura se compone de un cabezal de concreto de 3,5x3,5x1,2m. El mismo se apoya sobre 8 pilotes inclinados a 12°. Los siete pilotes laterales son de 50,80cm (20in) de diámetro, mientras que el pilote central es de 60,96 (24in) de diámetro.



SAP2000 v11

Figura 5. Vista en 3d de la Propuesta No.2

La longitud de hincado de los pilotes laterales bajo el lecho marino es de 16m con el fin de lograr la capacidad requerida de diseño, tanto para la extracción como para el hundimiento de

los pilotes. En el caso del pilote central, la profundidad de hincado estimada es de 23m, debido a que las cargas actuantes sobre el mismo son de mayor magnitud.

El proceso constructivo consiste básicamente en la construcción de estructuras provisionales de acero que permitan al equipo de hinca dar a los pilotes el ángulo de inclinación deseado. Posteriormente, se colocaría la formaleta y se procedería a la colocación del acero de refuerzo del cabezal, para finalmente chorrear el volumen de concreto requerido.

El costo total de esta alternativa es de \$410.000,00.

Análisis comparativo de alternativas

Se realizó un análisis multicriterio de las dos alternativas, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Costos
- Proceso constructivo
- Punto de vista geotécnico
- Inspección y mantenimiento

Se determinó así que la Propuesta No.2 es la más factible, por lo que fue a esta propuesta a la cual se le elaboraron los planos constructivos, las especificaciones técnicas y el plan de inspección y mantenimiento.

Introducción

La Terminal de Playa Naranjo se localiza bajo las coordenadas cartográficas 214000 Norte y 430000 Este aproximadamente, según la hoja cartográfica denominada Golfo, escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional. La terminal se encuentra actualmente administrada en calidad de permisionario por COONATRAMAR. En el sitio se brinda el servicio de atraque a los ferries: San Lucas I y San Lucas II.

La infraestructura marítima portuaria de la terminal de Playa Naranjo está compuesta por los siguientes elementos:

- 3 duques de alba laterales de atraque y amarre.
- 1 rampa y marco para el izaje
- Relleno de recuperación
- Edificio
- Accesos

La Terminal de Transbordadores de Playa Naranjo representa una de las puertas de entrada y salida más importantes para el turismo, el comercio y la industria del Golfo de Nicoya. Sin embargo, el estado de conservación actual de las facilidades de atraque de la terminal es pésimo. Los tres duques de alba con que cuenta la terminal han, literalmente, desaparecido bajo la corrosión y la inexistencia de un mantenimiento adecuado. Los duques han perdido su funcionalidad y esto ha inducido a la rampa de acceso a soportar cargas de atraque para las cuales no ha sido diseñada, evidenciando un rápido deterioro en sus elementos estructurales y sus cimientos. El grado de deterioro de los duques es tal que ya no es posible pensar en reparaciones, lo único que queda por hacer es demolerlos y reconstruirlos.

El presente trabajo se centra en el estudio y diseño de infraestructura portuaria, específicamente en el diseño del sistema de atraque de la Terminal de Playa Naranjo. Los duques actuales nunca fueron diseñados, simplemente se construyeron sin conocer su resistencia o la capacidad de soporte de los suelos. Por ello, el diseño se basará en los

criterios técnicos y filosofías de diseño de países pioneros en infraestructura portuaria, como lo son España y Japón.

Objetivo General

- Estudiar las facilidades de atraque de la terminal de Transbordadores de Playa Naranjo.

Objetivos Específicos

- Realizar una descripción general del tipo de facilidades requeridas para el correcto funcionamiento de una terminal de cabotaje.
- Analizar la condición estructural actual de los sistemas de atraque de la Terminal de Playa Naranjo.
- Investigar los criterios y metodologías de diseño que rigen el análisis de un sistema de duques de alba.
- Establecer dos posibles alternativas de diseño para los duques de alba del sistema de atraque.
- Escoger, con base en un análisis de equipo requerido, complejidad constructiva, experiencia y costos, la alternativa más factible.
- Ejecutar un diseño integral de la alternativa seleccionada.
- Elaborar los planos constructivos y la documentación de las especificaciones técnicas básicas y el presupuesto de la solución escogida.
- Establecer un plan de actividades de inspección y mantenimiento necesarias para que la infraestructura de los duques de alba sea debidamente conservada.

Marco Teórico

Estructuras de atraque: Duques de alba

“Los duques de alba son estructuras diseñadas especialmente para amarrar las embarcaciones o para recibir sus impactos y absorber su energía. En el primer caso se dice que son de amarre y, en el segundo, de atraque. Pueden tenerse duques que cumplan ambas funciones”. (Herrejón, 1979)

El propósito principal de los duques de alba es permitir el atraque de las embarcaciones, de manera que protejan a la estructura principal y ésta deba ser diseñada únicamente por cargas verticales y sismo o empujes del terreno en su caso. La literatura técnica (Herrejón, 1979) recomienda construir estructuras bastante flexibles con pilotes verticales o bien rígidas a base de pilotes inclinados, con un sistema de defensas efectivo que logre evitar grandes impactos que puedan causar fallas considerables. Se recomienda también, en el caso de duques de alba, que estos cuenten con un cabezal pesado, de manera que la inercia de la estructura contribuya a la absorción de la energía, puesto que ésta debe vencerse antes de que la estructura sufra desplazamientos.

Las estructuras de atraque son protegidas por medio de defensas, las cuales permiten reducir los esfuerzos sobre la estructura y por ende, reducir el costo global del proyecto. Estas defensas pueden ser desde almohadas de cables, resortes, piezas de hule, madera, pilotes de madera hasta estructuras sofisticadas de novedosa tecnología, como se verá más adelante.

Respecto a los materiales con se construyen los duques de alba, cabe mencionarse que las estructuras de madera fueron utilizadas antiguamente con mucha eficacia. El avance de la tecnología permitió la construcción de duques de alba en acero, los

cuales tienen en comparación con los de madera, un costo superior pero una vida útil mayor.



Figura 6. Ferry San Lucas II atracado en duques de alba en la Terminal de Playa Naranjo (Fuente: del Autor)

En nuestro país la madera y sobre todo el acero, en general son materiales más caros que el concreto, además de que la corrosión en el acero es muy considerable. A condición de que la posibilidad de daño local se reduzca con defensas eficientes y se evite la formación de grietas a través de las cuales el agua de mar destruya el acero de refuerzo, no hay razón por la cual una estructura de concreto no se construya con la debida flexibilidad.

Características de diseño de las embarcaciones

En el Cuadro 1 se muestran los parámetros de diseño de las embarcaciones.

A continuación se muestran dos figuras con la nomenclatura técnica más importante por conocer en una embarcación para efectos de diseño:

| CUADRO 1. SIMBOLOGÍA Y DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE LAS EMBARCACIONES (Shibata, 2002) | | |
|---|-------------------|--|
| Terminología | Simbología | Definición |
| Tonelaje de registro bruto (Gross Tonnage) | TRB o GT (ton) | Aplica a las embarcaciones no a la carga. Volumen total de la embarcación y la carga. Se obtiene de dividir el total de la capacidad de la embarcación entre 100 pies cúbicos. |
| Tonelaje de registro neto (Net Tonnage) | TRN o NT (ton) | Volumen total de carga que puede ser transportado por una embarcación |
| Tonelaje de desplazamiento (Displacement tonnage) | DPT o DT (ton) | Peso total de la embarcación y la carga cuando la embarcación es cargada hasta la línea de calado |
| Tonelaje de peso muerto (Death Weight Tonnage) | DWT (ton) | Peso de la carga, combustible, pasajeros, tripulación y alimentos de la embarcación |
| Peso ligero (Light Weight) | LW (ton) | Peso propio de la embarcación |
| Eslora total (Lenght Over All) | L ó LOA (m) | Longitud máxima tomada entre los dos puntos más extremos de la proa y la popa del navío |
| Eslora entre perpendiculares | LPP (m) | Longitud entre la perpendicular de proa y la perpendicular de popa |
| Manga (Breath of ship) | B (m) | Distancia a través de la sección paralela de los costados de la embarcación |
| Calado cargado (Loaded draft) | d (m) | Distancia entre el punto más profundo de la embarcación y la línea de flotación cuando la nave está cargada hasta la marca de borde libre de la embarcación (capacidad máxima) |
| Calado ligero (Light Draft) | db (m) | Distancia entre el punto más profundo de la embarcación y la línea de flotación cuando la nave está descargada |
| Calado (Depth of ship) | D (m) | Profundidad real sumergida de la nave en un momento dado |

Elaborado con Microsoft Word

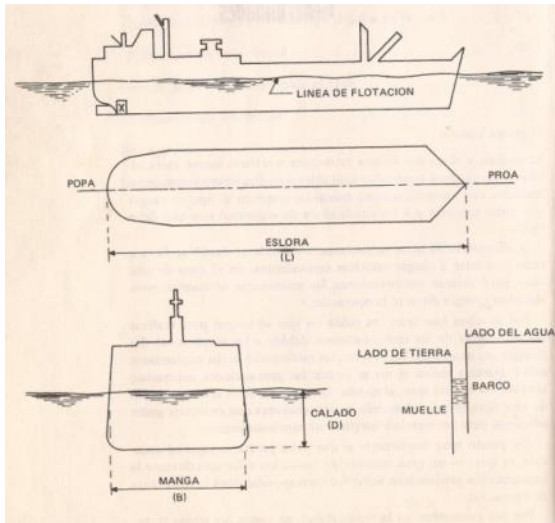


Figura 7. Términos comunes en obras marítimas (Herrejón, 1979)

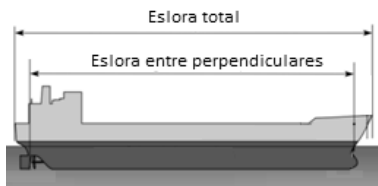


Figura 8. Propiedades comunes de las embarcaciones

Clasificación de las acciones

En obras marítimo-portuarias las acciones tienen tres clasificaciones principales (ROM 0.2-90, 1992).

- a) Por su variación en el tiempo:
 - Cargas permanentes
 - Cargas variables
 - Cargas accidentales

- b) Por su variación en el espacio:
 - Cargas fijas: su repartición sobre la estructura está definida de forma no ambigua por medio de un solo parámetro.
 - Cargas móviles: dentro de unos límites dados, pueden ser arbitrariamente repartidas sobre la estructura.

- c) Por la respuesta de la estructura:
 - Cargas estáticas
 - Cargas dinámicas

No es común distinguir entre cargas estáticas y dinámicas debido a que en la mayoría de estructuras portuarias la consideración de los efectos dinámicos es susceptible de ser tratada en términos de un sistema estático de cargas equivalentes. Raramente es necesario recurrir a estudios más elaborados para tomar en cuenta los efectos dinámicos producidos por cargas dinámicas tales como el atraque de las embarcaciones o las acciones producidas por el viento, las corrientes y el oleaje.

Cargas permanentes

Las cargas permanentes son aquellas cuya magnitud y posición son constantes a lo largo del tiempo sobre la estructura. Se refieren, esencialmente, al peso de los componentes estructurales.

Cargas variables

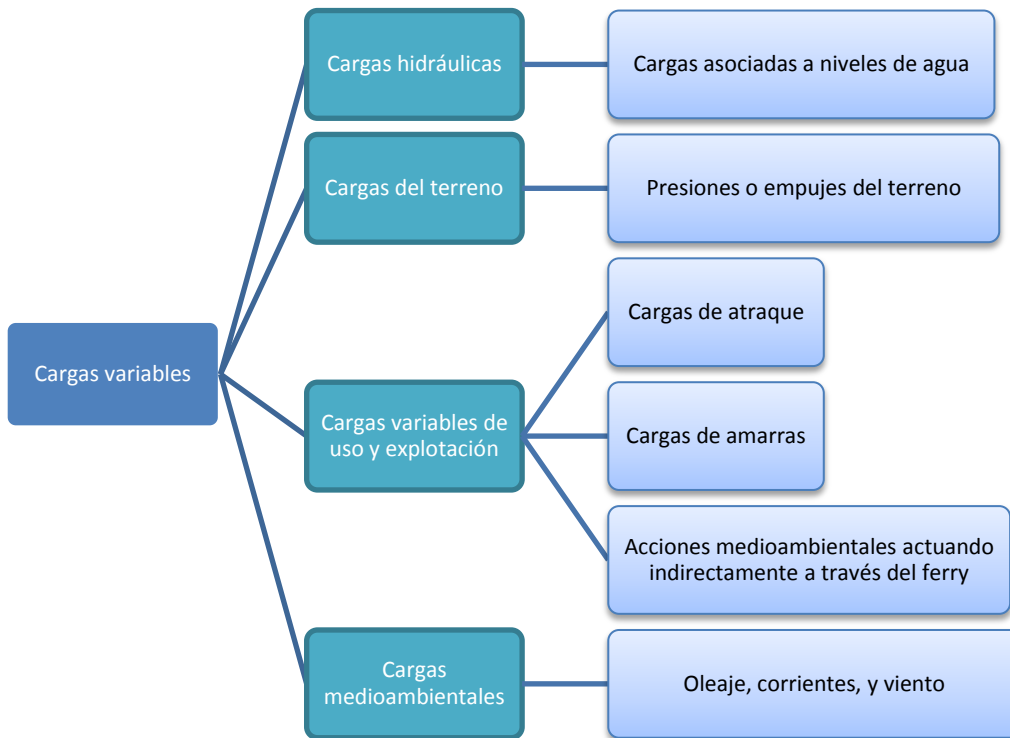
“Las cargas variables son todas aquellas cargas externas a la obra en sí, cuya magnitud y posición es variable a lo largo del tiempo de forma frecuente o continua, y de variación no despreciable respecto a su valor medio”. (ROM 0.2-90, 1992).

Se muestra en la Figura 9 la clasificación de las cargas variables.

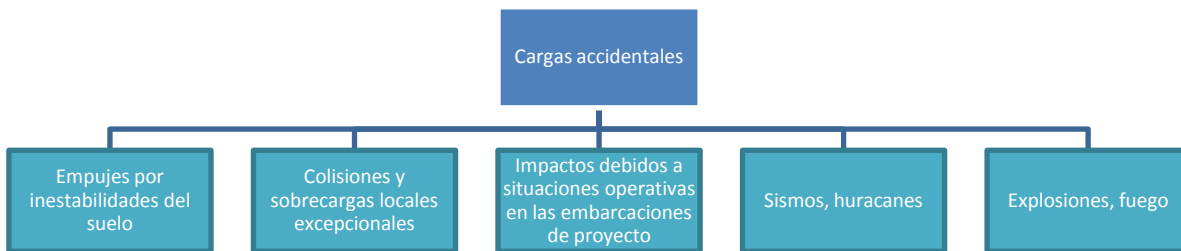
Cargas accidentales

“Las cargas accidentales son cargas de carácter fortuito o anormal que pueden presentarse como resultado de un accidente, mal uso, o condiciones medioambientales o de trabajo excepcionales. Pueden considerarse como acciones de carácter variable con pocas probabilidades de actuación, o que presentan pequeñas duraciones de aplicación a lo largo de la vida útil de la estructura, o que de producirse, su efecto puede ser significativo para la seguridad de la estructura.” (ROM 0.2-90, 1992).

Se muestran ejemplos de cargas accidentales en la Figura 10.



MICROSOFT WORD
Figura 9. Clasificación de las cargas variables



MICROSOFT WORD
Figura 10. Ejemplos de cargas accidentales (Elaborado con el software Microsoft Word)

Impacto de embarcaciones

El propósito principal de los duques de alba es el permitir el atraque de las embarcaciones, de manera que las cargas horizontales más importantes que debe soportar son las causadas por el impacto de ellas. Estos impactos se presentan en dos condiciones:

a) Atraque en condiciones normales: la embarcación realiza las maniobras de atraque, con el capitán gozando de total control de la embarcación y ante la actuación de agentes medioambientales que no dificultan la maniobra.

b) Atraque accidental en condiciones no normales o excepcionales: por ejemplo, si la embarcación pierde los motores y atraca con una velocidad mayor a la normal, o si la maniobra de atraque se realiza durante un temporal.

Por consiguiente, un análisis de la determinación de la estabilidad de una estructura

de atraque puede ser dividido en los siguientes aspectos (Herrejón, 1979):

1) Determinación de la magnitud y dirección del impacto.

2) Estimación de la proporción de la energía cinética de la embarcación que debe absorber el muelle u otra estructura y defensas en el impacto.

3) Determinación del monto de esta energía que será absorbida por las defensas junto con el diseño de estas.

4) Determinación de los esfuerzos en el muelle u otra estructura a causa del impacto lateral que recibe.

Existen dos maneras principales en las cuales una embarcación puede atracar. La primera es por medio de remolcadores. Mediante esta maniobra el barco es empujado por embarcaciones más pequeñas hasta las facilidades de atraque, el capitán de la embarcación no tiene control del movimiento que se le da a su nave. Por medio de este procedimiento se logra que la embarcación atraque paralela al paramento formado por las estructuras de atraque a una velocidad controlada.

La segunda forma en que una embarcación puede atracar es por medio de sí misma, es decir, sin la ayuda de otras embarcaciones. Por medio de este procedimiento, la embarcación suele llegar formando cierto ángulo con el paramento de atraque, tal y como se muestra en la Figura 11. Dicho ángulo depende del tipo de embarcación y de su maniobrabilidad. Recálquese que no existe tanto control de la velocidad del atraque en comparación con la maniobra que utiliza

remolcadores. Una vez la embarcación hace contacto con las facilidades de atraque, se da un giro de ella alrededor del punto de contacto, de manera que debe considerarse la resistencia que ofrece el agua al movimiento de la embarcación. Debido a la gran variedad de casos y factores que influyen en la maniobra de atraque, es típico considerar que el punto de contacto inicial entre las estructuras de atraque y la embarcación se da a un cuarto de la proyección de la eslora de la embarcación.

Si una amarra se asegura de la parte delantera y el barco se jala hacia el muelle, ocurre un deslizamiento longitudinal, durante el cual la componente longitudinal de la energía se transforma en fricción de las defensas, tensión de los cables y resistencia del agua.

Así, la energía de la embarcación se absorbe de la siguiente manera, hasta llegar al reposo (Herrejón, 1979):

1) Trabajo de deformación de la misma embarcación.

2) Resistencia de fricción del agua durante los cambios en dirección de la embarcación.

3) Calor producido por fricción entre el barco y la estructura o las defensas mientras se logra el reposo. Por ejemplo, durante el deslizamiento a lo largo del paramento de atraque.

4) Trabajo de deformación de la estructura y las defensas.

5) Restricción de los cables de las amarras.

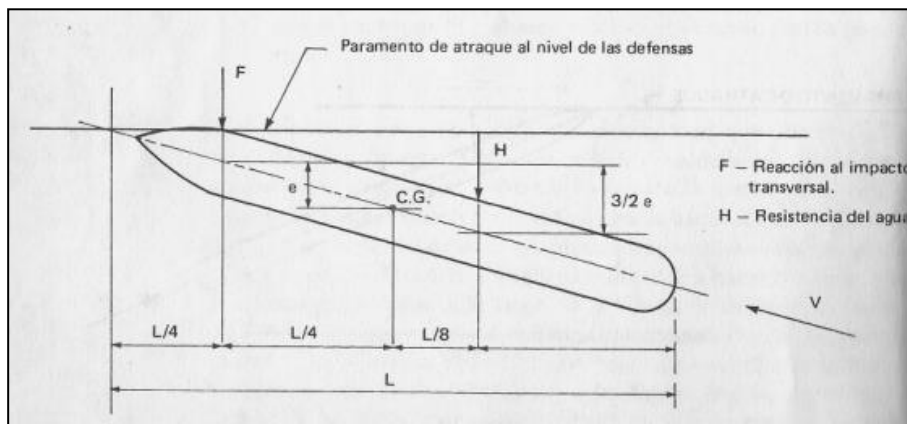


Figura 11. Esquema de cuerpo libre del atraque típico de una embarcación (Herrejón, 1979)

Las fuerzas externas que actúan sobre las estructuras de atraque, cuando la embarcaciones realizan las maniobras de atraque, deben ser estimadas usando un método apropiado que contemple las dimensiones de la nave de diseño, el método de atraque, la velocidad de atraque, el tipo de estructura de atraque, además de la influencia del viento, el oleaje y las corrientes marinas.

Para efectos de diseño, deben diferenciarse los siguientes dos casos:

- a) Cargas causadas por el atraque de la embarcación.
- b) Cargas producidas por el movimiento de la embarcación mientras está amarrada.

El primer paso al diseñar facilidades de atraque es el estimar la carga de atraque de la embarcación de diseño. Posteriormente, se debe considerar las cargas de empuje y de amarre ocasionadas por el movimiento de la embarcación atracada, producto de la acción de los agentes medioambientales (viento, oleaje y corrientes) actuando sobre el barco.

Energía de atraque

Según Harau (2009), el método más utilizado para la determinación de la energía en un atraque es el de la energía cinética. Existen otros métodos alternativos, a saber: métodos estáticos, métodos utilizando modelos hidráulicos en laboratorios, métodos que utilizan modelos de dinámica de fluidos. Sin embargo, cuando se utiliza este tipo de métodos, los datos necesarios para efectuar los diseños son insuficientes y los valores de las constantes utilizadas no han sido estudiados apropiadamente.

Según el método de la energía cinética, la energía del atraque se calcula con la siguiente expresión (Bridgestone, 1998):

$$E_f = \left(\frac{M_s V^2}{2} \right) C_e C_m C_s C_c$$

Donde,

E_f = energía de atraque de la embarcación (KJ = KNm)

M_s = masa de la embarcación (Tonelaje de desplazamiento DPT) (ton)

V = velocidad de atraque

C_e = coeficiente de excentricidad

C_m = coeficiente hidrodinámico de masa

C_s = coeficiente de ablandamiento (valor estándar = 1)

C_c = coeficiente de configuración del atracadero (valor estándar = 1)

La fuerza de impacto va a depender del tipo de defensas utilizadas, por lo que es necesario determinarla partir de las gráficas proporcionadas por el fabricante para el tipo de defensas consideradas.

A continuación se muestra una serie de correlaciones para calcular M_s a partir de otros datos conocidos (PARI, 2009):

Ferries (de larga distancia):

$$\log(\text{DPT}) = 1.388 + 0.683 \log(\text{GT})$$

Ferries (de corta a mediana distancia):

$$\log(\text{DPT}) = 0.506 + 0.904 \log(\text{GT})$$

Velocidad de atraque

Para efectos de diseño, la velocidad de atraque de la embarcación debe ser lo más real posible a lo que pueda presentarse en campo, de manera que lo más conveniente es que ésta sea determinada con base en medidas reales tomadas en campo, considerando la posición de las estructuras de atraque existentes, el clima y las condiciones oceanográficas.

Al determinar la velocidad de atraque debe considerarse la maniobra de atraque realizada por la embarcación, tal y como se describió anteriormente. Así, debe considerarse si la embarcación de diseño es asistida por remolcadores o si ésta atraca por sus propios medios.

La siguiente figura muestra la relación entre la facilidad de manejo de la embarcación (por condiciones medioambientales) y la velocidad de atraque. Se aprecia que entre mejores condiciones medioambientales presente el emplazamiento, menor será la velocidad de atraque. Puede notarse también que entre mayor sea el tonelaje de desplazamiento (DT) de la embarcación menor será la velocidad de atraque.

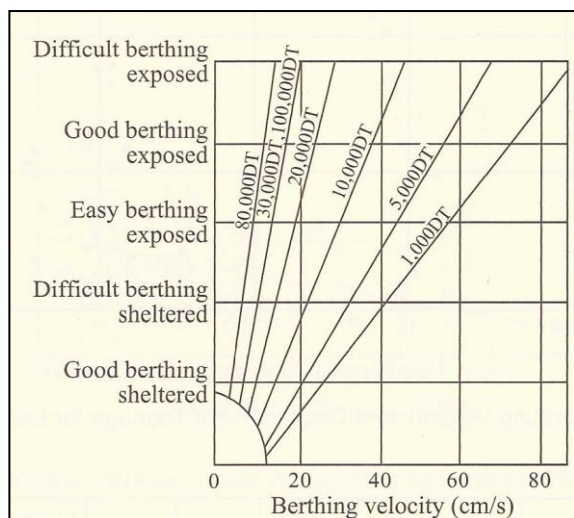


Figura 12. Relación entre la condición de navegación al momento de realizar la maniobra de atraque y la velocidad de atraque (PARI, 2009)

Definiciones,

Good berthing (sheltered): buenas condiciones de atraque en sitios abrigados.

Difficult berthing (sheltered): condiciones difíciles de atraque en sitios abrigados.

Easy berthing (exposed): condiciones de atraque tranquilas en sitio no abrigado.

Good berthing (exposed): condiciones buenas de atraque en sitio no abrigado.

Difficult berthing (exposed): condiciones de atraque difíciles en sitio no abrigado.

Berthing velocity: velocidad de atraque

De acuerdo con estudios estadísticos (PARI, 2009) realizados a embarcaciones durante sus operaciones de atraque, se ha determinado que en el caso de los ferries, esta velocidad es usualmente menor a 10 cm/s. Sin embargo, pueden haber casos excepcionales donde la velocidad de atraque sea superior a 15 cm/s y por ende, deben tomarse previsiones.

Factores del método de la energía cinética

Se presenta en el Cuadro 2 la definición y ecuación de cálculo de cada uno de los factores que intervienen en la estimación de la energía del atraque de la embarcación por medio del método de la energía cinética.

Defensas

“El propósito del sistema de defensas es servir como amortiguador (mediante la absorción de la energía de impacto), para proteger el casco de los transbordadores y las estructuras de atraque al momento en que las naves realizan la maniobras de atraque”. (Shibata, 2002)

Se muestra a continuación las ventajas del uso de defensas:

- Asegurar una maniobra de atraque tranquila.
- Un sistema de defensas apropiado permite reducir los costos globales del proyecto.
- Debido a que las defensas son más deformables en comparación con la estructura, estas absorben energía con mayor desplazamiento y menor fuerza.
- Protegen tanto a la estructura de atraque como al casco de la embarcación.

Una apropiada selección del sistema de defensas toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Las características de la estructura de atraque y las embarcaciones por atracar en ellas.
- Los movimientos de la embarcación ocasionados por los agentes medioambientales, las condiciones del atraque y el ángulo de aproximación.
- El esfuerzo generado por la reacción de las defensas sobre los miembros de la estructura.
- La embarcación debe hacer contacto con la defensa en todo momento y condiciones de marea, sin hacer contacto directo con la estructura.

CUADRO 2. FACTORES DE CÁLCULO DEL MÉTODO DE LA ENERGÍA CINÉTICA

| Factor | Descripción | Ecuación de cálculo |
|---|--|--|
| Coefficiente de excentricidad (Ce) | Toma en cuenta que la embarcación suele atracar con cierto ángulo respecto al paramento de atraque, por lo que ocurre una pérdida de energía debido al giro de la embarcación respecto al punto de contacto. | $C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2}$ (Bridgestone, 1998) Donde, l = distancia entre el punto donde la nave toca la estructura de atraque y el centro de gravedad de la embarcación. Medido paralelo al atracadero. (m) r = radio de giro de la embarcación (m). El radio de giro puede tomarse como ¼ de la eslora de la embarcación de diseño (Bridgestone, 1998). |
| Coefficiente hidrodinámico de masa (Cm) | Toma en cuenta el peso adicional de agua que debe ser adicionado al de la embarcación, debido al agua que se desplaza contra la estructura y aporta carga. | $C_m = 1 + \frac{2d}{B}$ (PARI, 2009) Donde, B: manga del barco d: calado cargado |
| Coefficiente de ablandamiento (Cs) | Representa la energía remanente después de la energía absorbida por el trabajo de deformación del casco de la embarcación durante el impacto. Generalmente se asume que no hay energía consumida de esta manera y que son las defensas las que absorben toda la energía. | Se le da un valor estándar de 1 (Shibata, 2002) |
| Coefficiente de configuración del atracadero (Cc) | Considera la disminución de la energía de atraque debido a la masa de agua que se interpone entre la embarcación y la estructura de atraque, la cual se resiste al movimiento de la embarcación, tal y como un choque ocurriera en este espacio. | No se han realizado investigaciones al respecto, pero se cree que depende del ángulo de atraque, la forma del casco de la embarcación y la velocidad. Adquiere un valor estándar de 1 (Shibata, 2002) |

Elaborado con Microsoft Word

Para efectos de diseño, las principales características que deben tomarse en cuenta al seleccionar las defensas son las siguientes (Bridgestone, 1998):

a) Absorción de energía (E): tonf – m

La razón de energía absorbida es la cantidad de energía absorbida por las defensas cuando estas son comprimidas a una determinada deflexión. Ella es dada por el área debajo de la reacción de la curva de deflexión.

b) Fuerza de reacción (R): tonf

Es la reacción producida por la defensa sobre la estructura bajo una determinada deflexión.

c) Razón de deflexión: %

Es la mayor eficiencia entre el valor de absorción de energía (E) y el valor de la fuerza de reacción (R), que representa la deflexión en la que el radio de E/R logra valores máximos.

d) Presión del casco: tonf/m²

Representa la presión transferida por el casco de la embarcación a las defensas (por metro

cuadrado). Presión del casco = fuerza de reacción / área de contacto.

Existen dos tipos principales de defensas: las defensas de reacción constante y las defensas de módulo de elasticidad constante. Las defensas de reacción constante presentan una curva de desempeño como la mostrada en la Figura 13. Nótese que estas defensas sufrirán un incremento de la carga de reacción producto de un estado inicial de la deformación elástica. Sin embargo, cuando la carga de reacción alcance el punto A, esta permanecerá casi constante a pesar del incremento en la deflexión. Cuando los espacios huecos de la defensa se cierran producto de la deformación se alcanza el punto B. En dicho momento, la fuerza de reacción incrementará súbitamente ante un incremento de las deflexiones.

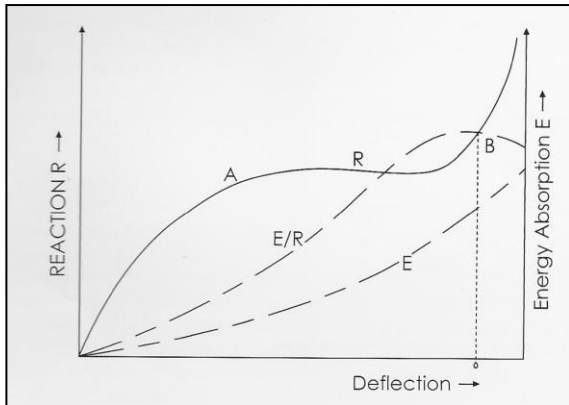


Figura 13. Curva de desempeño de las defensas de reacción constante (Shibata, 2002)

En el caso de las defensas de módulo de elasticidad constante, su curva de desempeño será como la mostrada en la Figura 14. Nótese que en este tipo de defensas la fuerza de reacción es proporcional a la deflexión de la defensa. Al igual que en el caso anterior, una vez los espacios huecos de la defensa se cierran (punto B) ocurrirá un incremento súbito en la reacción de la defensa.

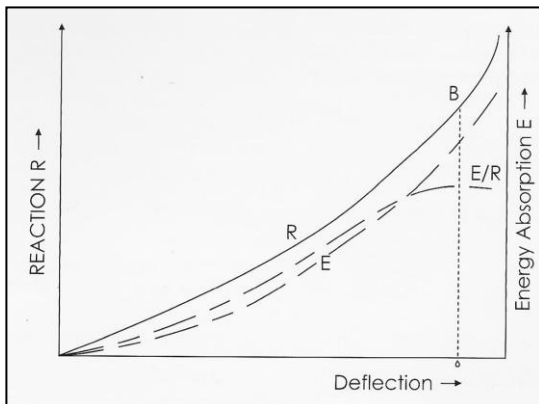


Figura 14. Curva de desempeño de las defensas de módulo de elasticidad constante (Shibata, 2002)

La fuerza del atraque es calculada a partir de la energía de atraque utilizando las curvas de desempeño de las defensas dadas por cada fabricante. Evidentemente, la defensa seleccionada debe tener una absorción de energía igual o mayor a la energía de atraque de la embarcación calculada por medio del método de la energía cinética.

Como se ha comentado anteriormente, la aproximación del barco a la defensa se da con cierto ángulo de aproximación, definido como el

ángulo que forma la coraza de la embarcación con la estructura de atraque. Así, las curvas de desempeño de las defensas deben ser corregidas por el Factor de Corrección Angular (Fae), el cual toma en cuenta el efecto de compresión angular no uniforme en las defensas. Bajo cargas angulares, la fuerza de reacción y la capacidad de absorber energía de las defensas disminuye respecto a cargas normales, por lo que las curvas dadas por los fabricantes deben ser corregidas (cada fabricante propone sus propios factores de corrección debido a este efecto).

Cuando la embarcación se encuentra atracada, la embarcación sufre movimientos producto de la acción de los agentes medioambientales, de manera que hay que considerar las fuerzas de fricción generadas entre el casco de la embarcación y las defensas. Si la fuerza de cortante se asume por ser debida a la fricción, entonces debe ser considerada entre el 30% y el 40% de la fuerza de reacción de las defensas (Harau, 2009).

Se presenta en el Anexo 9 los principales tipos de defensas encontrados en el mercado.

Acción de los agentes medioambientales

En todos los emplazamientos el viento, las corrientes y el oleaje son factores por considerar, ya que con mayor o menor intensidad están presentes siempre.

La literatura técnica (PARI, 2009) reconoce que las acciones medioambientales actuando indirectamente a través de la embarcación sobre los duques de alba son mayores a las acciones generadas por esos mismos agentes actuando directamente sobre ellos. De manera que en este apartado se estudian los efectos generados por la actuación de los agentes medioambientales actuantes sobre la embarcación.

Definiciones

Viento

Según Macdonel (1999), el viento se define como el movimiento de las masas de aire.

Técnicamente, es una corriente horizontal (o casi horizontal) de aire que circula con relativa proximidad a la superficie terrestre.

Corrientes

El tipo de corrientes por considerar en este proyecto son aquellas generadas por marea astronómica. La marea astronómica es el conjunto de movimientos regulares de ascenso y descenso del nivel del mar con períodos próximos a las 12 o 24 hrs. Es producida mayoritariamente por los efectos gravitacionales del sistema tierra-luna-sol, y las fuerzas que producen dichos astros sobre los océanos. La corriente representa la circulación de la masa de agua en una dirección determinada.

Oleaje

El oleaje se define como las alteraciones de la superficie del mar por la actuación continua del viento sobre una superficie durante un cierto periodo de tiempo (ROM 1.0-09, 2009).

Existen dos tipos principales de oleaje: el oleaje tipo swell (oleaje de mar de fondo) y oleaje tipo sea (oleaje de viento).

“El oleaje tipo swell se define como el oleaje que abandona el área de generación y se propaga a través de superficies marítimas sin estar sometido a la acción significativa del viento, y por tanto atenuándose progresivamente hasta su completa extinción. El oleaje tipo Swell presenta olas menos peraltadas que el oleaje tipo Sea, con periodos y longitudes de onda grandes en una gama estrecha de frecuencias. Da lugar en general a un aspecto ordenado y regular de la superficie líquida.” (ROM 0.3-91, 1992)

“El oleaje tipo sea se define como el oleaje que se forma y desarrolla en una superficie líquida bajo la acción directa y continua del viento, generándose ondas elementales de altura, periodo, fase y dirección de propagación aleatorias e independientes, cuya interferencia da lugar a un aspecto caótico de la superficie líquida.” (ROM 0.3-91, 1992)

Factores de cálculo

Los principales factores que deben ser considerados al estimar las acciones generadas por los agentes medioambientales sobre una embarcación son los siguientes:

- La velocidad del agente medioambiental
- La dirección de procedencia del agente
- La geometría del barco: determina las áreas de exposición a los distintos agentes. Por ejemplo, el área de exposición de la embarcación al viento es representada por la obra muerta de la misma, es decir, el área comprendida entre la línea de flotación y la cubierta más alta. En el caso de las corrientes, el área de exposición es dada por la obra viva del barco, en otras palabras, la sección limitada por el casco de la embarcación y la línea de flotación.

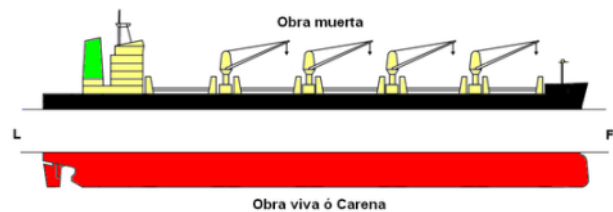


Figura 15. Obra viva y obra muerta de una embarcación
(Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Carena>)

- El movimiento del barco: debe considerarse si el barco se encuentra en movimiento o si éste está detenido. En todos los casos en que el barco está en movimiento habrá que tomar en consideración que el agente medioambiental realmente actuante sobre el barco es el agente aparente o relativo, cuya dirección e intensidad son las resultantes del agente absoluto real y de una velocidad igual y contraria a la del buque.
- El nivel de carga del barco: el nivel de carga de la embarcación va a determinar el calado de la misma en un momento dado. Al variar el calado del buque, la línea de flotación se modifica, lo cual a su vez modifica la obra viva y muerta del barco, por lo que las áreas de exposición a los agentes medioambientales cambia. Conviene analizar dos casos distintos: el efecto de los agentes medioambientales

con el barco descargado y con el barco a carga máxima, y definir así el caso más crítico.

- La profundidad del emplazamiento.

Efectos de las corrientes y el viento

Los efectos del viento y las corrientes sobre un barco pueden ser discretizados por medio de los siguientes tres esfuerzos (ROM 3.1-99, 2000):

- Una componente F_L en el sentido longitudinal que tiende a hacer avanzar o retroceder al buque, según cual sea el ángulo de incidencia del viento.
- Una componente F_T en el sentido transversal del buque que tiende a desplazarle con un movimiento de deriva.
- Un Momento Resultante M_T que trata de hacer evolucionar al buque girándolo en el sentido correspondiente sobre un eje vertical.

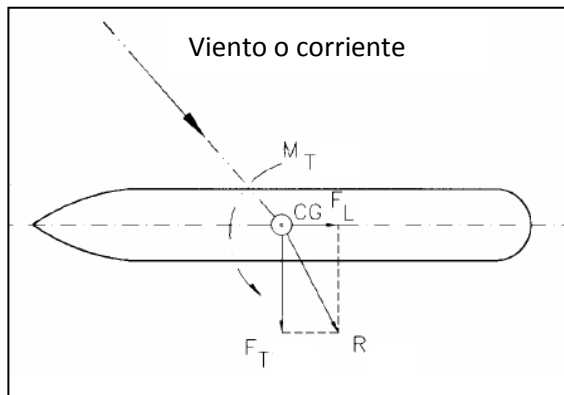


Figura 16. Acción del viento y las corrientes sobre una embarcación (ROM 3.1-99, 2000)

En el caso del viento, la componente longitudinal (F_L) y la componente transversal (F_T) corresponden a esfuerzos de presión sobre la embarcación. El momento resultante (M_T) se debe a que la fuerza resultante (R) sobre el barco no pasa por el centro de gravedad del mismo. Este momento resultante depende, principalmente, de la forma de la superestructura de la nave, tal y como se ilustra en la Figura 17.

Por otro lado, en el caso de las corrientes, la componente longitudinal (F_L) y la componente transversal (F_T) corresponden a la

suma de esfuerzos de presión y esfuerzos de fricción actuando sobre la obra viva del barco. En el caso del viento, los esfuerzos de fricción son despreciables, pero al agua tener mayor densidad que el aire, si deben considerarse esfuerzos de fricción generados por las corrientes sobre el casco de la embarcación. En el caso de las corrientes, el momento resultante (M) se debe a la excentricidad de las fuerzas de presión en relación con el centro de gravedad del barco.



Figura 17. Giro de la embarcación alrededor del centro de gravedad en función de la superestructura (ROM 3.1-99)

En el Anexo 2 se presenta la formulación de cálculo de las acciones del viento sobre el barco. Mientras tanto, se presentan en los Anexos 3 y 4 la formulación de cálculo para las acciones de las corrientes sobre la embarcación.

Efectos del oleaje

Al calcular los efectos del oleaje sobre una embarcación deben considerarse, además de los factores de cálculo mencionados anteriormente, las características propias de las olas que inciden en el emplazamiento. Entre estas características se encuentran su altura, longitud, la dirección de

propagación y su período, tal y como se aprecia en la Figura 18.

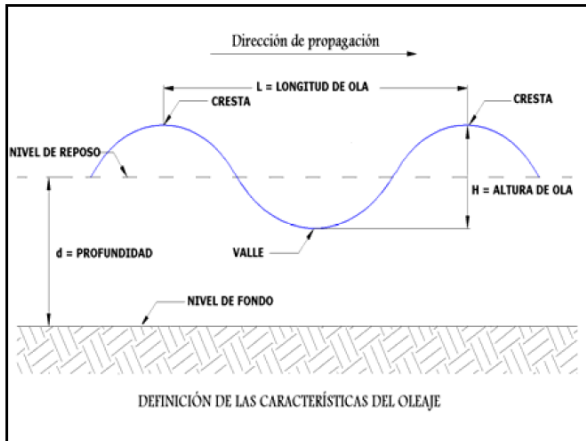


Figura 18. Características generales del oleaje (Macdonel et al, 1999)

Los efectos del oleaje sobre el barco pueden discretizarse en los siguientes dos esfuerzos (ROM 3.1-99, 2000):

- Una componente F_{LW} el sentido longitudinal, que tiende a hacer avanzar o retroceder el buque según sea el ángulo de incidencia del oleaje.
- Una componente F_{TW} el sentido transversal del buque, que tiende a desplazarle con un movimiento de deriva.

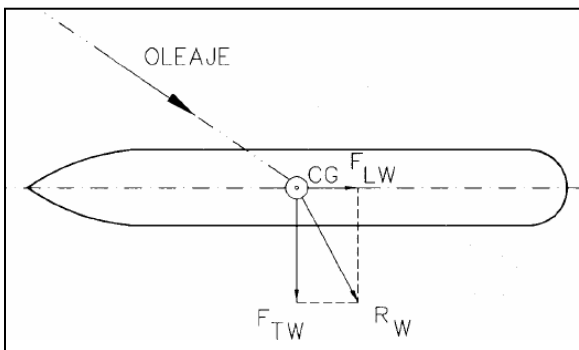


Figura 19. Acción del oleaje sobre una embarcación (Fuente: ROM 3.1-99)

La complejidad en la cuantificación analítica de los esfuerzos producidos por el oleaje sobre un barco es muy grande debido a su dependencia de muchas variables. Por esta razón, y a falta de estudios más específicos como análisis en modelo o mediciones sobre prototipo, la ROM

3.1-99 (2000) recomienda utilizar la metodología de cálculo presentada en el Anexo 5.

Acción en las amarras

Dependiendo del efecto total de los agentes medioambientales sobre el barco, se tendrá en un determinado caso que el barco es empujado contra las facilidades de atraque, en cuyo caso las cargas deberán ser resistidas por las defensas. Por otro lado, el efecto total de los agentes medioambientales puede causar también que el barco se aleje de las estructuras de atraque, por lo que las amarras son las encargadas de mantener a la embarcación en posición estable.

Las amarras reciben nombres diferentes según la dirección en que trabajan al salir del buque por las gateras y según la ubicación de estos últimos elementos. En la siguiente figura se ilustra el nombre que reciben las amarras según el punto de salida de la embarcación:



Figura 20. Nombre de las amarras de una embarcación atracada

Según la ROM 3.1-99 (2000), el efecto de una amarra cualquiera puede verse esquematizado en la Figura 21 donde el vector T_M representa la componente horizontal de tensión aplicada en la amarra, cuando se hala desde un punto de amarre en el paramento de atraque. Este vector T_M trasladado al centro de gravedad (CG) produce los siguientes efectos principales:

- La componente longitudinal T_{ML} tiende a hacer avanzar al buque.
- La componente transversal T_{MT} tiende a desplazar lateralmente el buque acercándolo al muelle.
- El momento sobre el eje vertical debido a la excentricidad de la fuerza, trata de hacer evolucionar al buque girándolo en el sentido de caer con su proa hacia tierra.

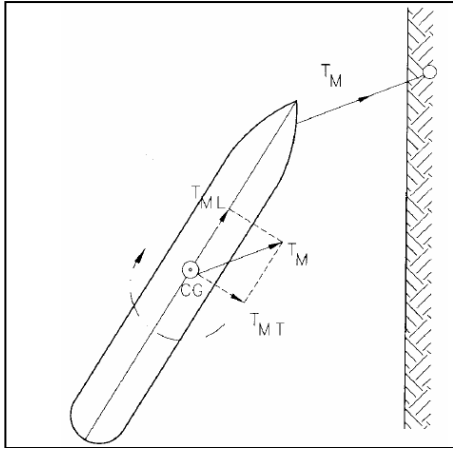


Figura 21. Efecto de una amarra (ROM 3.1-99, 2000)

Cargas temporales y de sismo

En el caso de los duques de alba no es de esperar que existan cargas temporales por ocupación o almacenamiento presentes, ya que este no es el fin con el cual dichas estructuras son construidas. Las cargas sísmicas se estimarán utilizando los lineamientos establecidos en el Código Sísmico de Costa Rica.

Según códigos internacionales como las ROM españolas y los Estándares Técnicos de Puertos y Aeropuertos de Japón (PARI), en el caso de estructuras ubicadas en el agua debe considerarse un incremento en la carga sísmica debido a la presión dinámica del agua que se encuentra en espacios dentro de las facilidades portuarias al momento del sismo. Tanto las normas Japonesas como las ROM coinciden en aceptar la hipótesis de Westergard como válidas para considerar dicho efecto. Así, la carga sísmica adicional que debe considerarse debido a la masa de agua es calculada con la siguiente fórmula (ROM 2.0-08, 2006):

$$P_{dw} = \pm \frac{7}{12} \frac{a_h}{g} \gamma_w H^2$$

Donde,

P_{dw} : fuerza resultante de la presión dinámica del agua (kN/m)

γ_w : peso unitario del agua marina (kN/m³)

H : altura de la estructura bajo el nivel del agua (m)

a_h : aceleración pico del terreno reducida

$$a_h = a_p * \alpha$$

α : factor de reducción que evalúa la flexibilidad de la obra frente a los terremotos

- Taludes exentos y muelles de gravedad sin coacciones, etc. $\alpha = 0,5$
- Taludes con inclusiones rígidas (p.e. pilotes) o muros con coacciones en cabeza, muelles de pantallas ancladas, etc. $\alpha = 0,75$ a 1

El punto de aplicación de la carga anterior se calcula de la siguiente manera:

$$h_{dw} = \frac{3}{5} H$$

Donde,

h_{dw} : profundidad de la fuerza resultante de la presión dinámica del agua desde el nivel de agua (m)

Ahora bien, la fórmula anterior es aplicable en el caso de estructuras con un gran área expuesta a la acción del agua, por ejemplo, un muelle de tablaestacas o estructuras de contención. En el caso de una estructura a base de pilotes como es el caso de la tipología estructural de un duque de alba, el factor de reducción α de la aceleración del terreno ha sido poco estudiado pero se acepta que su valor es muy cercano a 0, por lo que los efectos dinámicos del agua durante un sismo sobre un duque de alba son despreciados.

Metodología

La primera etapa del proyecto consistió en la recopilación de información necesaria para el diseño de infraestructura portuaria. Las principales fuentes de información fueron las Recomendaciones de Obras Marítimas Españolas (ROM) y los estándares técnicos del Instituto de Puerto y Aeropuertos de Japón (PARI). Fue necesario realizar un estudio profundo del *Informe de factibilidad para la administración, operación y mantenimiento de las terminales de las rutas del servicio de cabotaje modalidad transbordadores del Golfo de Nicoya (CCM, 2011)*, pues en él se plasman aspectos básicos para el diseño, como lo son las batimetrías y los condicionantes medioambientales e hidrodinámicos tales como los regímenes de viento, oleaje y corrientes para el emplazamiento de Playa Naranjo.

La elaboración del Marco Teórico consistió en la extracción de la información específica relacionada con la estimación de cargas y diseño de estructuras de atraque, en este caso, duques de alba, de las fuentes de información anteriormente comentadas.

Posteriormente, se presentó un estudio del estado de conservación actual de la terminal en el cual se describe las facilidades de atraque

existentes y las causas del deterioro actual de estas, con el fin de sensibilizar y demostrar la necesidad de la renovación de las facilidades de la terminal. El principal problema de este estudio fue la inexistencia de estudios de suelos en la terminal, por lo que fue necesario realizar suposiciones en cuanto al tipo de suelos que pueden existir en el emplazamiento, basándose en un estudio de suelos llevado a cabo en Paquera en 1992.

Una vez realizados los estudios anteriormente mencionados y establecidos los condicionantes sociales y medioambientales del proyecto se procedió al cálculo de las acciones de diseño sobre las estructuras y a realizar el diseño preliminar de ellas, incluyendo estimación de costos y esquemas generales.

Seguidamente, se procedió a realizar un análisis multicriterio con el fin de seleccionar la alternativa más factible desde el punto de vista del proceso constructivo, los costos y la facilidad para la inspección y mantenimiento. Con base en estos resultados se seleccionó la mejor alternativa y se procedió a completar el diseño integral, incluyendo planos constructivos, especificaciones técnicas y un plan general de inspección y mantenimiento.

Estudio Técnico: Terminal de Cabotaje de Playa Naranjo

Infraestructura portuaria

En materia de cabotaje, la función principal de la infraestructura portuaria es el permitir la transferencia de vehículos y personas entre el modo de transporte terrestre y el modo de transporte marítimo. Las terminales de cabotaje deben operar con eficiencia con el fin de optimizar los tiempos de transporte y darle fluidez al mercado comercial y turístico al que sirven las facilidades, garantizando la seguridad de los usuarios y los operarios de la terminal.

Con el fin de garantizar la correcta operación de una terminal, esta debe contar con infraestructuras de acceso terrestre que permitan el ingreso, salida y tránsito interno de los usuarios y los vehículos. Debe contarse entonces con carreteras, ferrocarriles y una conexión con la red local del área portuaria.

En el caso de las embarcaciones, debe contarse con una infraestructura que permita una navegación segura (p.e. balizas y boyas), además de defensas marítimas que garanticen la seguridad de las embarcaciones durante su permanencia en el puerto, como lo son diques, escolleras y rompeolas.

De acuerdo al Banco Mundial (CCM, 2011), los activos portuarios se clasifican en tres tipos de bienes: infraestructura básica, la infraestructura operacional y la superestructura.

Infraestructura básica

La infraestructura básica comprende las obras civiles dentro del área portuaria que permiten el suministro de servicio a los ferries, a los pasajeros y al manejo de carga. Esta infraestructura incluye muelles, astilleros, red portuaria de carreteras y ferrocarriles. La

infraestructura portuaria es utilizada por dos tipos de clientes (CCM, 2011):

- Los buques, que utilizan los amarres del puerto o fondean dentro de sus aguas. Generalmente pagan tarifas que recaen sobre el barco, y/o sobre la mercancía, y se traducen en ajustes en el costo de fletes o pasajes.
- Las empresas que trabajan dentro del área portuaria y que ofertan servicios a los buques (remolcadores, estibadoras, terminales, empresas de reparación), que generalmente operan mediante el pago de un canon o impuesto.

Superestructura e Infraestructura Operacional

Sobre la infraestructura portuaria se construyen:

- 1) Las superestructuras portuarias: son los edificios, almacenes, talleres y edificios de oficina, es decir, los lugares donde se prestan los servicios y se administra la terminal.
- 2) La infraestructura operacional: la cual se compone por la maquinaria y los equipos móviles y fijos requeridos para la prestación de servicios, así como los sistemas de información y automatización de las actividades de la terminal.

Generalidades

En términos navales, el cabotaje se conoce como el transporte de carga y pasajeros entre puertos de un mismo país, sin perder de vista la costa. En el caso de nuestro país, el cabotaje marítimo es esencialmente el transporte de personas y automotores.

El Servicio de Cabotaje del Golfo de Nicoya consiste en el transporte marítimo de dos rutas principales:

- Barrio El Carmen – Paquera y viceversa, con una longitud de 22.5 km (12.2 millas náuticas).
- Barrio El Carmen – Playa Naranjo y viceversa, cuya longitud es de 18.5 km (10.0 millas náuticas).



Figura 22. Ubicación de las dos rutas de cabotaje del Golfo de Nicoya (Consejo Municipal del Distrito de Cóbano, 2011)

El ferry a Playa Naranjo se estableció en el año 1965, producto de la necesidad de brindar comunicación al distrito de Cóbano. Antes de ello, por su posición geográfica, Cóbano no tenía comunicación con el resto de la Península de Nicoya, por lo que la relación comercial más fácil era con Puntarenas, vía marítima. Al principio el transporte se hacía en bongos o botes de vela con remos. Montezuma, Mal País y Manzanillo fueron importantes puertas de entrada o

embarcaderos donde se establecieron los comerciantes de productos de la zona, de estos puntos se trasladaban los productos a Puntarenas, primero en bongos y luego en lanchas de motor que duraban cinco horas en el trayecto (Consejo Municipal del Distrito de Cóbano, 2011).

Con la apertura del ferry, el turismo se convirtió en la actividad económica más importante. Tambor, Montezuma, Mal País, Playa Carmen, Santa Teresa y Manzanillo son las playas más importantes de la zona y a las cuales se tiene ingreso mediante la Terminal de Playa Naranjo.

La Terminal de Playa Naranjo se localiza bajo las coordenadas cartográficas 214000 Norte y 430000 Este aproximadamente, según la hoja cartográfica denominada Golfo, escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional. La terminal se encuentra actualmente administrada en calidad de permisionario por COONATRAMAR. En el sitio se brinda el servicio de atraque a los ferries: San Lucas I y San Lucas II.

La infraestructura marítima portuaria de la terminal de Playa Naranjo está compuesta por los siguientes elementos:

- 3 duques de alba laterales de atraque y amarre.
- 1 rampa y marco para el izaje
- Relleno de recuperación
- Edificio
- Accesos



Figura 23. Terminal de Cabotaje de Playa Naranjo (Fuente: del Autor)

COONATRAMAR R.L.

“Desde octubre de 1987 hasta la fecha la cooperativa COONATRAMAR brinda el servicio de cabotaje en la ruta Puntarenas – Playa Naranjo, con un permiso provisional otorgado por la Dirección General de Transporte Marítimo, hoy Dirección de Navegación y Seguridad del MOPT. La Cooperativa es la responsable de la administración de la Terminal en Playa Naranjo. COONATRAMAR R.L. es una empresa naviera que se dedica al transporte de pasajeros y vehículos a través del Golfo de Nicoya. La cooperativa tiene su centro de operaciones en Barrio El Carmen, frente a la terminal de este sector” (CCM, 2011).

Estudio de la demanda de la ruta de Puntarenas – Playa Naranjo

“La zona de influencia de esta ruta cubre el sector Lepanto y Jicaral, y tráfico marginal hacia el sureste de la Península, conectándolo vía Puntarenas, el Norte, Centro y Este del país.” (CCM, 2011)

El número de viajes por día son función de la temporada del año. Se observa en el Cuadro 3 que es durante el I y IV trimestre del año cuando se presentan los mayores picos de demanda. Esto debido a que dichos períodos coinciden con el período de vacaciones de fin y principio de año.



Figura 24. Ruta Puntarenas – Playa Naranjo Hoja Cartográfica Golfo 017 IGN

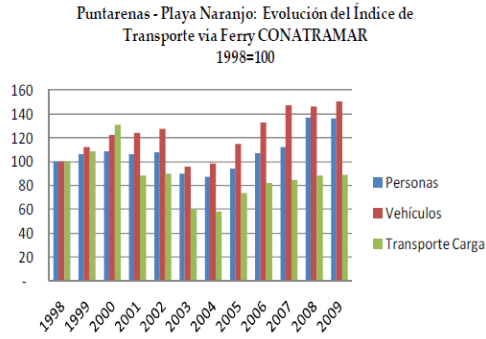


Figura 24. Evolución del índice del ferry COONATRAMAR (Fuente: CCM)

CUADRO 3. DISTRIBUCIÓN TRIMESTRAL DE TRÁFICO 1998-2009, FERRY PUNTARENAS-PLAYA NARANJO

| Ferry Puntarenas - Playa Naranjo: Distribución trimestral de tráfico 1998-2009, % del total anual | | | | |
|---|-------------|--------------|---------------|--------------|
| | I Trimestre | II Trimestre | III Trimestre | IV Trimestre |
| Pasajeros | | | | |
| Promedio | 30.7% | 22.6% | 22.5% | 24.3% |
| Mínimo | 29.4% | 21.8% | 22.1% | 23.7% |
| Máximo | 32.0% | 23.3% | 22.9% | 24.8% |
| Vehículos | | | | |
| Promedio | 31.7% | 22.5% | 21.6% | 24.2% |
| Mínimo | 29.8% | 21.6% | 21.2% | 23.4% |
| Máximo | 33.7% | 23.4% | 22.0% | 24.9% |
| Carga | | | | |
| Promedio | 29.7% | 23.5% | 21.9% | 24.9% |
| Mínimo | 27.5% | 22.7% | 21.2% | 23.8% |
| Máximo | 31.9% | 24.3% | 22.7% | 26.0% |

Fuente: Construida por CCM.

Se aprecia en la Figura 24 el crecimiento de la demanda de personas, vehículos y transporte de carga desde el año 1998. Nótese la caída en la demanda sufrida entre los años 2003 y 2004 producto de la apertura de la ruta del Puente de la Amistad, sobre el Río Tempisque. Según Coonatramar, esto significó una caída del 40% en términos de pasajeros y un 20% en los ingresos. Se aprecia también una recuperación moderada a partir del año 2005.

La contribución a los ingresos de la ruta se puede resumir como:

- 40 % proviene del tráfico de carga
- 35 % de pasajeros
- 25% de vehículos.

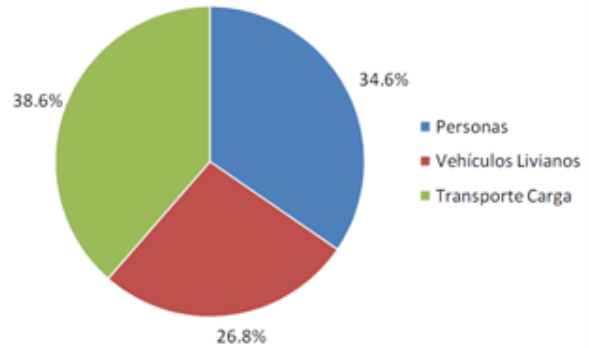


Figura 25. Contribución a los ingresos por parte de los usuarios, Ferry Puntarenas- Playa Naranjo (Fuente: CCM)

A partir de estudios de la demanda, se han hecho proyecciones hasta el año 2026; lo cual es información relevante para determinar la embarcación de diseño de las instalaciones portuarias. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

**CUADRO 4. PROYECCIONES ESCENARIO PROBABLE (DEMANDA PROMEDIO).
PUNTARENAS-PLAYA NARANJO (CCM, 2011)**

| Año | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2024 | 2025 | 2026 |
|----------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| NÚMERO VIAJES | 2,930 | 3,041 | 3,148 | 3,283 | 3,437 | 5,868 | 6,161 | 6,469 |
| PASAJEROS | | | | | | | | |
| Adultos | 91.7% | 274,980 | 278,216 | 281,602 | 285,450 | 342,732 | 349,638 | 356,888 |
| Menores | 8.3% | 24,961 | 25,255 | 25,562 | 25,911 | 31,111 | 31,738 | 32,396 |
| VEHÍCULOS | | | | | | | | |
| Bicicletas | 2.5% | 925 | 976 | 1,041 | 1,115 | 2,284 | 2,425 | 2,573 |
| Motocicletas | 11.9% | 4,387 | 4,630 | 4,939 | 5,291 | 10,835 | 11,504 | 12,207 |
| Tric. y cuadraciclos | 0.3% | 104 | 110 | 117 | 125 | 257 | 273 | 289 |
| Livianos | 85.3% | 31,396 | 33,133 | 35,342 | 37,861 | 77,534 | 82,323 | 87,352 |
| Carga liviana | 61.1% | 12,467 | 12,903 | 13,458 | 14,091 | 24,054 | 25,257 | 26,519 |
| Microbús | 7.2% | 1,476 | 1,528 | 1,593 | 1,668 | 2,848 | 2,990 | 3,140 |
| Buseta | 0.8% | 165 | 171 | 178 | 187 | 319 | 335 | 352 |
| Bus | 0.3% | 59 | 61 | 64 | 67 | 114 | 119 | 125 |
| II Ejes | 24.4% | 4,990 | 5,165 | 5,387 | 5,640 | 9,628 | 10,109 | 10,615 |
| III Ejes | 4.3% | 873 | 903 | 942 | 986 | 1,684 | 1,768 | 1,856 |
| IV Ejes | 0.1% | 22 | 23 | 24 | 25 | 43 | 45 | 47 |
| V Ejes | 1.8% | 362 | 375 | 391 | 409 | 699 | 734 | 770 |

**CUADRO 5. PROYECCIONES ESCENARIO PROBABLE (DEMANDA BAJA).
PUNTARENAS-PLAYA NARANJO (CCM, 2011)**

| Año | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2024 | 2025 | 2026 |
|----------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| NÚMERO VIAJES | 2,930 | 3,010 | 3,087 | 3,182 | 3,291 | 4,855 | 5,030 | 5,212 |
| PASAJEROS | | | | | | | | |
| Adultos | 91.7% | 274,535 | 277,269 | 280,109 | 283,317 | 328,909 | 334,191 | 339,697 |
| Menores | 8.3% | 24,921 | 25,169 | 25,427 | 25,718 | 29,856 | 30,336 | 30,836 |
| VEHÍCULOS | | | | | | | | |
| Bicicletas | 2.5% | 917 | 960 | 1,015 | 1,077 | 2,010 | 2,118 | 2,231 |
| Motocicletas | 11.9% | 4,349 | 4,554 | 4,814 | 5,108 | 9,535 | 10,049 | 10,584 |
| Tric. y cuadraciclos | 0.3% | 103 | 108 | 114 | 121 | 226 | 238 | 251 |
| Livianos | 85.3% | 31,123 | 32,592 | 34,450 | 36,555 | 68,235 | 71,911 | 75,742 |
| Carga liviana | 61.1% | 12,398 | 12,767 | 13,234 | 13,763 | 21,719 | 22,642 | 23,604 |
| Microbús | 7.2% | 1,468 | 1,512 | 1,567 | 1,629 | 2,571 | 2,681 | 2,795 |
| Buseta | 0.8% | 164 | 169 | 175 | 182 | 288 | 300 | 313 |
| Bus | 0.3% | 59 | 60 | 63 | 65 | 103 | 107 | 112 |
| II Ejes | 24.4% | 4,963 | 5,110 | 5,297 | 5,509 | 8,693 | 9,063 | 9,448 |
| III Ejes | 4.3% | 868 | 894 | 926 | 963 | 1,520 | 1,585 | 1,652 |
| IV Ejes | 0.1% | 22 | 23 | 23 | 24 | 39 | 40 | 42 |
| V Ejes | 1.8% | 360 | 371 | 384 | 400 | 631 | 658 | 686 |

**CUADRO 6. PROYECCIONES ESCENARIO PROBABLE (DEMANDA ALTA).
PUNTARENAS-PLAYA NARANJO (CCM, 2011)**

| Año | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2024 | 2025 | 2026 |
|----------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| NÚMERO VIAJES | 2,930 | 3,077 | 3,220 | 3,403 | 3,614 | 7,292 | 7,774 | 8,288 |
| PASAJEROS | | | | | | | | |
| Adultos | 91.7% | 275,425 | 279,170 | 283,114 | 287,627 | 357,980 | 366,798 | 376,123 |
| Menores | 8.3% | 25,001 | 25,341 | 25,699 | 26,109 | 32,495 | 33,296 | 34,142 |
| VEHÍCULOS | | | | | | | | |
| Bicicletas | 2.5% | 933 | 992 | 1,068 | 1,154 | 2,585 | 2,765 | 2,955 |
| Motocicletas | 11.9% | 4,425 | 4,706 | 5,065 | 5,476 | 12,264 | 13,115 | 14,016 |
| Tric. y cuadraciclos | 0.3% | 105 | 112 | 120 | 130 | 291 | 311 | 332 |
| Livianos | 85.3% | 31,668 | 33,677 | 36,245 | 39,190 | 87,759 | 93,855 | 100,301 |
| Carga liviana | 61.1% | 12,535 | 13,040 | 13,685 | 14,424 | 26,622 | 28,153 | 29,771 |
| Microbús | 7.2% | 1,484 | 1,544 | 1,620 | 1,708 | 3,152 | 3,333 | 3,525 |
| Buseta | 0.8% | 166 | 173 | 181 | 191 | 353 | 373 | 395 |
| Bus | 0.3% | 59 | 62 | 65 | 68 | 126 | 133 | 141 |
| II Ejes | 24.4% | 5,018 | 5,220 | 5,478 | 5,774 | 10,656 | 11,269 | 11,917 |
| III Ejes | 4.3% | 878 | 913 | 958 | 1,010 | 1,864 | 1,971 | 2,084 |
| IV Ejes | 0.1% | 22 | 23 | 24 | 26 | 47 | 50 | 53 |
| V Ejes | 1.8% | 364 | 379 | 398 | 419 | 773 | 818 | 865 |



Embarcaciones

Actualmente, el servicio de la ruta de Playa Naranjo se presta con las siguientes dos embarcaciones: el Ferry San Lucas I (con una capacidad de 294 pasajeros y 33 vehículos), como equipo principal y el Ferry San Lucas II (con una capacidad de 671 pasajeros y 55 vehículos), como equipo auxiliar, utilizado únicamente cuando se es necesario suplir picos de demanda.

Las embarcaciones de Coonatramar RL cuentan con las siguientes características:

- Personal de apoyo en la embarcación
- Instalaciones para vehículos y carga

- Salón cerrado para pasajeros con TV y A/C
- Cubierta
- Servicio de restaurante
- Servicios Sanitarios

| CUADRO 7. CARACTERÍSTICAS DE LOS BUQUES Y CAPACIDAD. SERVICIO DE PLAYA NARANJO | | | |
|---|----------------|---|--|
| Embarcación | | San Lucas I | San Lucas II |
| Foto | |  |  |
| Características | Símbolo | | |
| Calado | D | 2 m | 1.50 m |
| Eslora total | Loa | 45.3 m | 62.7 m |
| Manga | B | 12.5 m | 12.0 m |
| Puntal | | 3.5 m | 2.9 m |
| Tonelaje de Registro Bruto | TRB ó GT | 568.0 ton | 1058.0 ton |
| Tonelaje de Registro Neto | TRN ó NT | 250.0 ton | 449.0 ton |
| Capacidad | | | |
| Personas | | 294 | 671 |
| Vehículos livianos | | 33 | 55 |

Elaborado con Microsoft Word

Estado de conservación actual de la Terminal de Playa Naranjo

La Terminal de Transbordadores de Playa Naranjo fue construida sobre un relleno de espigones ganado al mar, el cual tiene una longitud de doscientos metros. La terminal cuenta con una única zona de atraque compuesta por tres duques de alba, una rampa de acceso y un marco de izaje. Sobre el relleno se construyó un edificio, en el cual se ubican las oficinas, boletería y áreas de descanso.



Figura 26. Ubicación geográfica general de la Terminal de Playa Naranjo. (CCM, 2011)

Pavimentos y Parquesos

La terminal cuenta con pavimento flexible hasta la entrada de la rampa de acceso. El mismo presenta un buen estado de conservación dado que no presenta huecos ni asentamientos.

En cuanto a los parquesos, estos representan uno de los mayores problemas que afronta la terminal, ya que no cuenta con espacios destinados para tal fin. Actualmente, los vehículos hacen fila en la vía pública y en lotes baldíos cerca de la terminal, lo cual dificulta la compra de los boletos de viaje a los pasajeros, especialmente en temporada alta, donde la fila puede alcanzar varios kilómetros.



Figura 27. Ingreso a la rampa de acceso de la terminal (Fuente: del Autor)

Edificios

El edificio está conformado por una planta de 16.0m x 9.5m y un mezzanine de 9.0m x 5.0m, en las cuales se encuentran distribuidos los servicios sanitarios, oficinas, boletería y áreas de descanso.

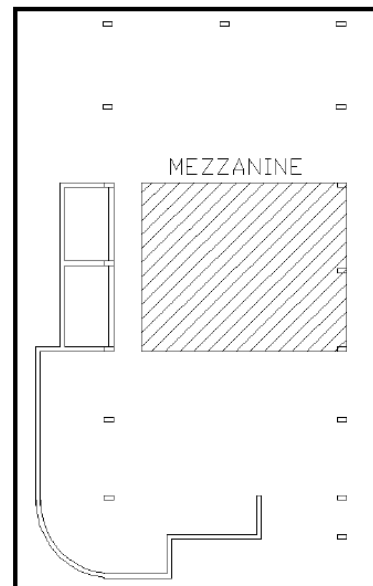


Figura 28. Vista en planta del edificio. (CCM, 2011)



Figura 29. Vista general del edificio. (CCM, 2011)

El edificio presenta un buen estado de conservación. Sin embargo, debe mencionarse que el mismo no cuenta con puertas en su planta baja, lo cual lo deja vulnerable al acceso del hampa. Solamente las boleterías y oficinas cuentan con cerramientos propios. En cuanto al espacio destinado a la espera, este resulta insuficiente en temporada alta, por lo que los pasajeros deben hacer fila en zonas no resguardadas contra las condiciones climáticas.

Rampas de acceso

La rampa de acceso fue sustituida totalmente por Coonatramar en el año 2008. Sin embargo, el nivel de corrosión de los elementos estructurales es más que evidente. Debe mencionarse que la rampa fue construida con materiales de segunda, es decir, con materiales que sobraron de otro proyecto (posiblemente de la construcción de los duques de alba de la Terminal de Barrio El Carmen). La misma se compone de 6 vigas longitudinales (2 vigas W y 4 vigas octogonales), un yugo de izaje conformado por una pieza de sección octogonal y varillas corrugadas que funcionan como tensores.

La calzada de la rampa está conformada por tabloncillos de madera, los cuales se sujetan por medio de platinas metálicas a las vigas de los extremos. Estos tabloncillos se encuentran separados entre sí por aberturas de hasta 15cm, de manera que aunque permiten el tránsito normal de los vehículos, representan un peligro para los pasajeros que deben abordar y salir del ferry caminando por la misma. Para agravar las cosas, nadie sabe el tipo de madera utilizada en

los tabloncillos, por lo que se desconoce su resistencia.

Debido al deterioro del marco de izaje, la maniobra de atraque se realiza de manera deficiente. Dicha estructura no cuenta con defensas, por lo que la rampa debe soportar el impacto de la embarcación bajo cargas horizontales para las cuales no fue diseñada. Esto no solo ha generado un deterioro de los componentes estructurales de la rampa, evidenciado en la deflexión y pandeo de sus elementos, sino que también el cabezal de concreto que funciona como base de la rampa se ha visto afectado. Este presenta un severo agrietamiento y desprendimiento de material producto de las cargas impuestas. Esto ha ocasionado que el acero de refuerzo quede expuesto al severo ambiente corrosivo.



Figura 30. Corrosión de miembros estructurales de la rampa. (Fuente: del Autor)



Figura 31. Detalle de los tabloncillos de rampas de acceso. (Fuente: del Autor)



Figura 32. Detalle del deterioro del apoyo izquierdo de la rampa. (Fotografía cortesía del Ing. Gilberto Rodríguez)



Figura 33. Detalle del agrietamiento de la base de la rampa de acceso. (Fuente: del Autor)

Duques de alba

La Terminal de Playa Naranjo cuenta con tres duques de alba para atraque y amarre de las embarcaciones. Los dos duques de los extremos están hechos a base de tablaestacas, mientras que el duque central se compone de pilotes octogonales. En el caso del duque central, este nunca fue construido en su totalidad. Una empresa se encargó de realizar la hincada de dichos pilotes; sin embargo, el proceso constructivo nunca se completó, puesto que no se colocaron elementos de amarre (como vigas y arriostres) que unieran los marcos estructurales. Por esta razón, se puede asegurar que el duque central no cumple ninguna función actualmente. Es interesante recalcar que los pilotes octogonales que se utilizaron tanto en la construcción de la nueva rampa y el duque central son exactamente iguales, lo cual refleja la ausencia de un diseño.

El principal problema que presentan los duques de alba es el avanzado nivel de corrosión de todos los elementos estructurales. El problema es más crítico en las uniones de los elementos, donde los arriostres de las estructuras han literalmente desaparecido. La mayor parte de los miembros estructurales han sido carcomidos, lo cual ha ocasionado la pérdida de sección transversal.

Otro problema grave es que ninguno de los duques cuenta con defensas, de manera que el impacto directo de la embarcación pudo haber acelerado el deterioro de las estructuras. Adicionalmente, considérese el peligro tan grave que representa para el casco de la embarcación el chocar directamente con el acero de los duques.



Figura 34. Elementos parcialmente desintegrados. (Fuente: del Autor)





Figura 35. Deflexión de los pilotes de tablaestaca debido al impacto del ferry. (Fuente: del Autor)



Figura 36. Duque central que no fue terminado. (Fuente: del Autor)

Debido a la falta de seguridad en la maniobra de atraque de las embarcaciones, el MOPT realizó mejoras provisionales de emergencia en el duque extremo más cercano a la terminal en el mes de febrero del presente año. Se aprovechó que el nivel de corrosión en la parte inferior de los pilotes de tablaestaca no era tan grave, para soldar perfiles de acero W en la parte superior de la estructura con el fin de aumentar la rigidez y evitar así el colapso debido al choque de los ferries. Esta reparación se efectuó sin ningún tipo de diseño, simplemente se aprovechó que las secciones W sobraron en otro proyecto y fueron colocadas como soportes provisionales en la estructura en estudio.



Figura 37. Reparación de emergencia en duque de alba extremo. (Fuente: del Autor)

Sistema de Izaje

El sistema de izaje está compuesto por un marco de acero, donde se apoyan las catalinas metálicas que mueven la rampa, con un sistema de contrapeso y tecles de 20 toneladas a cada lado que enganchan a un yugo conformado por un pilote octogonal. Al igual que los duques de alba, el principal problema del marco de izaje es el nivel de corrosión de sus componentes estructurales. Por otro lado, las catalinas metálicas fueron renovadas hace poco tiempo, por lo que no presentan problemas de corrosión aún.

Otro de los problemas más importantes es que el marco de izaje no posee suficiente altura, por lo que el tránsito de camiones pesados se ve impedido durante los ciclos de marea alta, ya que estos no pueden circular por debajo del mismo (ver Figura 27).



Figura 38. Detalle de catalinas metálicas y cadenas. (Fuente: del Autor)



Figura 39. Detalle de corrosión del marco de izaje y contrapesos sumergidos. (Fotografía cortesía del Ing. Gilberto Rodríguez)

Protección del relleno de recuperación

La protección de los taludes del relleno donde se construyó la terminal se da por medio de mallas de acero rellenas con gravas. Sin embargo, la mayoría de las mallas se encuentran rotas, de manera que el material se ha salido y ha sido arrastrado por el oleaje.

Por este motivo, Coonatramar colocó recientemente una especie de muro de gaviones con el fin de proteger algunas secciones del relleno.



Figura 40. Colchonetas de protección rotas. (Fuente: del Autor)



Figura 41. Protecciones recientes (Fotografía cortesía del Ing. Gilberto Rodríguez)

Estudios marítimos

En enero del presente año, el Consorcio CCM hizo entrega a la División Marítimo Portuaria de un amplio estudio de las condiciones marítimo ambientales que afectan el Golfo de Nicoya, con especial énfasis en los sitios donde se ubican las tres terminales de cabotaje, a saber: Paquera, Playa Naranjo y Barrio El Carmen.

Se incluye en el Anexo 1 un resumen de dicho estudio con los datos más importantes presentados en él y que serán herramienta fundamental de diseño del sistema de atraque de la Terminal de Playa Naranjo.

La información que se puede encontrar en los estudios marítimos del Anexo 1 es la siguiente:

- Estudio de regímenes de viento extremos y medios para el Golfo de Nicoya.
- Evaluación del Oleaje tipo Swell.
- Evaluación del Oleaje tipo Sea.
- Estimación de las corrientes de marea astronómica.

Una de las conclusiones más importantes a las que se llegó en el estudio es que las tres terminales de cabotaje del Golfo de Nicoya se encuentran protegidas contra el Oleaje tipo Swell. Esto implica que este tipo de oleaje no tiene incidencia sobre la Terminal de Playa Naranjo, y por ende, sus efectos pueden ser despreciados y no tendrán consideración en el proceso de diseño.

Otro punto importante por resaltar es que, como se mencionó en el Marco Teórico, el Oleaje tipo Sea es aquel generado localmente por efectos del viento. Al depender el oleaje tipo Sea del efecto del viento y ser las corrientes de marea astronómica de magnitudes bajas (como se demuestra en el estudio), será el viento la acción natural dominante para efectos de diseño.

Información geotécnica

No existe ningún registro de estudio de suelos llevado a cabo en Playa Naranjo. Las estructuras existentes actualmente fueron hincadas sin ningún tipo de diseño y no se llevó ningún registro de hinca del número de golpes necesarios en el proceso o los posibles tipos de suelos encontrados. No se conoce con certeza la profundidad que dichos pilotes fueron hincados ni las resistencias alcanzadas.

Por tal motivo fue necesario realizar un estudio de obras de infraestructura portuaria cercanas a Playa Naranjo. Se logró encontrar información sobre el diseño de la nueva Terminal Granelera Puerto Caldera, Bahía Cocodrilo S.A. (Golfito, Puntarenas), la Marina Pez Vela (Quepos, Puntarenas) y la Terminal de Transbordadores de Paquera.

En la memoria de cálculo del diseño de la Nueva Terminal Granelera de Puerto Caldera (2004) existe un estudio de suelos realizado por la empresa Royal Haskoning. Se encontró que en este sitio el manto rocoso se encuentra a más de 30m de profundidad y se presenta una capa de arcilla de más de 15m antes del mismo. De dicho estudio se muestra un resumen de datos en el Cuadro 9.

Respecto a Bahía Cocodrilo, lo único que se logró encontrar fue que el valor promedio de N de la prueba SPT fue de 12 para una profundidad de 4.5 m. En el caso de la Marina Pez Vela se encontró un completo estudio de suelos y perforaciones realizadas en el lecho marino. Sin embargo, dichos datos no son representativos pues se encuentran, respectivamente, en Golfito y Quepos, muy lejos del Golfo de Nicoya. Además, si se comparan los datos del estudio de suelos de Caldera (Cuadro 8) y los de Paquera (Cuadro 9), se aprecia que la estratigrafía del terreno es completamente diferente. Estos sectores tienen una formación geológica distinta y son afectados por una hidrodinámica diferente, por lo que no es posible considerar que, en términos globales, los tipos de suelos sean parecidos.

| CUADRO 8. RESUMEN DEL ESTUDIO DE SUELOS DE LA NUEVA TERMINAL GRANELERA DE PUERTO CALDERA (Royal Haskoning, 2004) | | | |
|---|----------------------|--|---------------------------|
| Profundidad (m) | Valor N (SPT) | Descripción | Clasificación SUCS |
| 1 | 5 | Arena mal graduada color gris oscuro. Consistencia suelta | SP |
| 2 | 14 | Arena limo arcilloso gris azulado mal graduado. Consistencia de suelta a densa | SP - SM |
| 3 | 16 | | |
| 4 | 18 | | |
| 5 | 20 | | |
| 6 | 28 | | |
| 7 | 27 | | |
| 8 | 29 | | |
| 9 | 31 | | |
| 10 | 37 | | |
| 11 | 37 | | |
| 12 | 30 | | |
| 13 | 35 | | |
| 14 | 21 | | |
| 15 | 12 | | |
| 16 | 17 | | |
| 17 | 12 | Arcilla color gris verduzca. Plasticidad alta. Consistencia de compacta a muy compacta | CH |
| 18 | 10 | | |
| 19 | 12 | | |
| 20 | 12 | | |
| 21 | 16 | | |
| 22 | 13 | | |
| 23 | 16 | | |
| 24 | 13 | | |
| 25 | 13 | | |
| 26 | 20 | | |
| 27 | 13 | Lutitas moradas muy frágiles y fáciles de desintegrarse qu = 5 - 15 ton/m3 | RQD 30% |
| 28 | 18 | | |
| 29 | 30 | | |
| 30 | 51 | | |
| 31 | 67 | | |
| 32 | RM | | |

Elaborado con Microsoft Word

| CUADRO 9. ESTUDIO DE SUELOS DE LA TERMINAL DE PAQUERA (García, 1992) | | |
|---|--------------------------|--|
| Profundidad (m) | Valor N (SPT) | Descripción |
| 1 | 25 | Arena arcillosa fina color café (SC) de grano fino a grueso Prom (48%) con algo de grava TM 3/4" Prom (24%) de compacidad: entre medianamente densa a muy suelta |
| 1.5 | 13 | |
| 2 | 12 | |
| 2.5 | 12 | |
| 3 | 16 | |
| 3.5 | 9 | |
| 4 | 5 | |
| 4.5 | 5 | |
| 5 | 9 | |
| 5.5 | 10 | |
| 6 | 6 | Arena limosa fina color gris oscuro (SM), de grano fino a grueso (60%) con algo de grana TM 3/4" (14%) de compacidad suelta a medianamente densa |
| 6.5 | 10 | |
| 7 | 10 | |
| 7.5 | 10 | |
| 8 | 12 | |
| 8.5 | 15 | |
| 9 | 12 | |
| 9.5 | 13 | |
| 10 | 19 | Arenisca de grano medio, con muy buen grano de selección. Roca de color café sano y verde alterada, con vetas de calcita, muy fracturada. Componente detrítico, geodas de cuarzo. |
| 11 | 31 | |
| 12 | 26 | Idem más componente biodetrítico, grano de selección malo, roca muy fracturada color café y verde. |
| 13 | 32 | |
| 14 | 38 | Fragmentos de conchas, retillas de calcita |
| 15 | 45 | Idem más roca color gris a negro sana, roca menos fracturada con clastos biodetríticos |

Elaborado con Microsoft Word

La principal herramienta con que se contó fue un estudio de suelos realizado por el MOPT en la Terminal de Cabotaje de Paquera (1992). Este conjunto de datos es el más representativo de la zona en estudio pues tanto Playa Naranjo como Paquera están ubicados en el Golfo de Nicoya a tan solo 12 km de distancia, compartiendo una misma formación geológica. Esto es posible comprobarlo en el Mapa Geológico de la Hoja

Golfo (Revista Geológica de América Central 32), donde se aprecia como ambos sectores están conformados principalmente por depósitos profundos del eoceno. Adicionalmente, tal y como se demuestra en el informe de CCM (Anexo 1), Paquera y Playa Naranjo comparten la misma hidrodinámica, por lo que es de esperar que el arrastre y depósito de sedimentos sea similar.

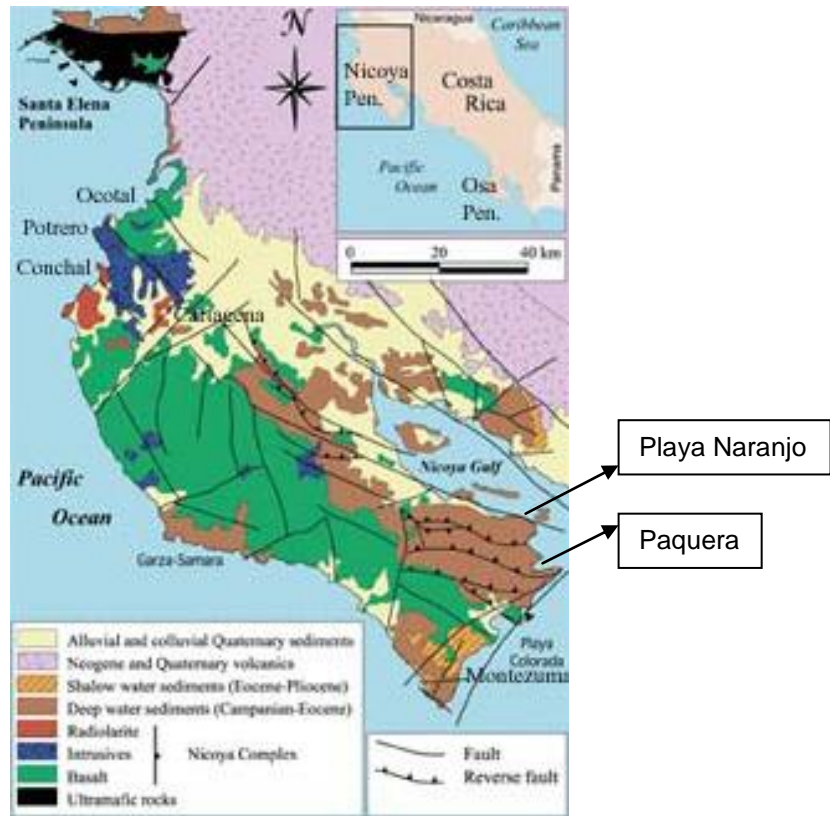


Figura 42. Tipos de suelos presentes en el Golfo de Nicoya (Iturralde, 2004)

Desarrollo de las Propuestas

Generalidades

Para efectos del cálculo de la vida útil del proyecto, la probabilidad de fallo y el período de retorno de las acciones por diseñar se utilizará la metodología contenida en la ROM 0.0 (2001), la cual es una metodología pionera a nivel mundial especialmente diseñada para implementarse en obras portuarias, y ampliamente utilizada en proyectos marítimos alrededor del mundo.

Dicha metodología fue sugerida por la División Marítimo Portuaria (MOPT). Esta se basa en especificar el carácter general del proyecto con base en dos índices:

- **Índice de repercusión económica (IRE)**

“Este índice valora cualitativamente las repercusiones económicas por reconstrucción de la obra (C_{RD}), y por cese o afectación de las actividades económicas directamente relacionadas con ella (C_{RI}), previsibles, en el caso de producirse la destrucción o pérdida de la operatividad total de la misma”. (ROM 0.0, 2001)

- **Índice de repercusión social y ambiental (ISA)**

“Este índice estima de manera cualitativa el impacto social y ambiental esperable en el caso de producirse la destrucción o pérdida de operatividad total de la obra marítima, valorando la posibilidad y alcance de la pérdida de vidas humanas, daños al medio ambiente y alarma social generada debido al cese de las actividades económicas”. (ROM 0.0, 2001)

Con base en dichos índices, se clasifica el proyecto según características económicas, sociales y ambientales, para luego correlacionar los resultados con la vida útil mínima de la estructura, la probabilidad de fallo y el período de retorno de las acciones por diseñar.

Cálculo del IRE

El IRE se calcula de la siguiente manera:

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_o}$$

Los parámetros C_{RD} y C_{RI} se definieron anteriormente. C_o es un parámetro económico de adimensionalización. Su valor depende de la estructura económica y del nivel de desarrollo económico del país donde se vaya a construir la obra. Para el caso de España, C_o tiene un valor de 3M euros.

Cálculo de C_o

Como se mencionó anteriormente, C_o depende de las condiciones sociales y económicas de cada país específico. Por recomendación del Ing. Henry Alfaro, se determina que la manera más adecuada de calcular el valor de C_o para el caso de Costa Rica es haciendo una comparación del Producto Interno Bruto (PIB) entre nuestro país y España, tomando el valor de C_o de España (3M euros) como valor de referencia.

Según el Plan Nacional de Transporte (INECO, 2011) se tienen los siguientes valores:

España → PIB = \$31774 per capita*

Costa Rica → PIB = \$6447 per capita*

*Valores actualizados al 10/3/2011

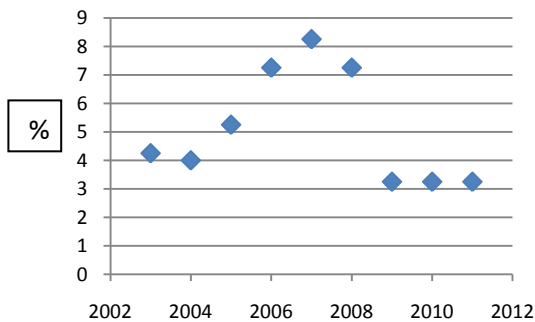
Según el Banco Central de Costa Rica el tipo de cambio del dólar US respecto al euro es de \$1.3896/euro (valor al 10/3/2011). De esta manera $C_o = 3M \text{ euros} = \4.17 M .

Así, el valor del coeficiente de adimensionalización en el caso de nuestro país es de \$846.100,30.

Cálculo de C_{RD}

El costo de reconstrucción de las obras debido a la falla de estas, puede ser estimado como el valor de la inversión inicial actualizado a un horizonte de análisis. La ROM 0.0 (2001) establece que a falta de información más precisa debe considerarse dicho horizonte de análisis a 5 años, suponiendo que en dicho momento se da la consolidación de las actividades económicas directamente relacionadas con las obras.

Se cuenta con un estudio de factibilidad económica de la administración de la Terminal de Playa Naranjo realizado por la empresa CCM para la División Marítimo Portuaria (MOPT). En dicho estudio se realiza una recomendación conceptual de las obras de infraestructura necesarias para el buen funcionamiento de la terminal y se realiza un presupuesto aproximado de las mismas. Según dichas recomendaciones, el valor de la inversión inicial de la terminal es de \$1.657.622.00. Debido a limitaciones de dicho estudio, el horizonte de análisis se establecerá al año 2014, por lo que es necesario llevar a valor futuro el valor de dicha inversión inicial. Para ello, se utilizará la Prime Rate, la cual es la tasa de interés preferencial para operaciones en dólares de EEUU, y que sirve como referencia a todos los mercados financieros.



MICROSOFT EXCEL
Figura 43. Valores de la Prime Rate de los últimos 9 años.
 (Fuente: Banco Central de Costa Rica)

Con base en la figura anterior es posible apreciar que después de la crisis económica mundial del 2006-2008, la tasa de interés se ha estabilizado y la proyección a futuro, según el comportamiento en los últimos tres años, es que permanezca de esta manera. Así, el valor de Prime Rate para proyectar el costo es de 3.25%.

$$VF = VP(1 + i)^n$$

Donde,

VF: Valor futuro de inversión

VP: Valor presente de la inversión

i: tasa de interés (Prime Rate)

n: horizonte de diseño (años)

Despejando los valores de la fórmula anterior se tiene que el valor futuro de la inversión es de \$1.824.550.00 = C_{RD} .

Cálculo de C_{RI}

Este índice se valora calculando los flujos de efectivo que se dejarán de percibir considerando las entradas y salidas de efectivo, junto con los impuestos, a causa del período de tiempo que dure la reconstrucción de la infraestructura. La ROM 0.0 establece que este período de reconstrucción deber ser estimado en un año.

Considerando la dificultad de estimar los flujos que toda una región dejará de percibir producto del cese de operaciones del proyecto, la ROM cuenta con un procedimiento alternativo que calcula el factor C_{RI}/C_o de manera cualitativa. La ROM propone calcularlo de la siguiente manera:

$$\frac{C_{RI}}{C_o} = C \times (A + B)$$

Donde,

A: parámetro que evalúa el ámbito del sistema productivo al que sirve las instalaciones portuarias.

B: evalúa la importancia estratégica del sistema económico y productivo al que sirve la obra.

C: evalúa la importancia de la obra para el sistema económico y productivo al que sirve.

| CUADRO 10. PARÁMETROS DE CÁLCULO DEL FACTOR C_{RI}/C_O (ROM 0.0, 2001) | | |
|--|----------------------------|-----------------|
| Parámetro | Característica Cualitativa | Valor Propuesto |
| A | Local | 1 |
| | Regional | 2 |
| | Nacional / Internacional | 5 |
| B | Irrelevante | 0 |
| | Relevante | 2 |
| | Esencial | 5 |
| C | Irrelevante | 0 |
| | Relevante | 1 |
| | Esencial | 2 |

Elaborado con Microsoft Word

El procedimiento consiste en asignar un valor numérico sugerido por la ROM según una clasificación cualitativa otorgada a cada variable (ver Cuadro 10). Se tiene entonces la siguiente evaluación para el proyecto en estudio:

A = 1 → Las instalaciones dan servicio al sistema productivo local (solo algunas localidades de la región del Golfo de Nicoya son servidas por la Ruta de Playa Naranjo. Existe la Ruta por Paquera y el Puente de la Amistad que brindan mayor porcentaje de servicio a la región).

B = 5 → Importancia estratégica esencial para el sistema económico y productivo. Costa Rica es un país cuya economía se ve fuertemente afectada por el sector turístico, siendo las playas del Golfo de Nicoya, los principales destinos turísticos.

| CUADRO 11. COMPOSICIÓN DEL PIB POR SECTORES (Banco Central, 2011) | | | |
|--|-------|-------|-------|
| | 2010 | 2011 | 2012 |
| Producto interno bruto a precios de mercado | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Menos: Impuestos sobre los productos y las importaciones (netos de subvenciones) | 8,6 | 8,5 | 8,6 |
| Producto interno bruto a precios básicos | 91,4 | 91,5 | 91,4 |
| Agricultura, silvicultura y pesca | 9,2 | 9,1 | 8,8 |
| Extracción de minas y canteras | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Industria manufacturera | 21,3 | 21,1 | 21,0 |
| Construcción | 4,4 | 4,3 | 4,4 |
| Electricidad y agua | 2,7 | 2,7 | 2,6 |
| Comercio, restaurantes y hoteles | 15,3 | 15,3 | 15,1 |
| Transporte, almacenaje y comunicaciones | 15,5 | 15,9 | 16,3 |
| Servicios financieros y seguros | 5,4 | 5,4 | 5,4 |
| Actividades inmobiliarias | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| Otros servicios prestados a empresas | 5,1 | 5,3 | 5,5 |
| Servicios de administración pública | 2,0 | 2,0 | 1,9 |
| Servicios comunales, sociales y personales | 9,6 | 9,5 | 9,5 |
| Menos: servicios de intermediación financiera medidos indirectamente(SIFMI) | 3,7 | 3,7 | 3,8 |

Elaborado con Microsoft Word

Se aprecia en el cuadro anterior que el sector turismo representa casi un 15% del PIB a través del comercio, restaurantes y hoteles; justificando así la importancia estratégica del sistema económico al que sirve el proyecto como esencial para la economía del país.

C = 1 → Importancia de la obra relevante para el sistema económico.

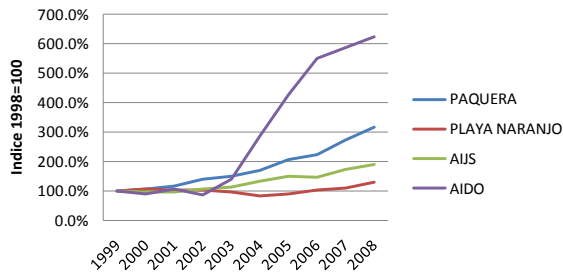


Figura 44. Servicio de cabotaje Golfo de Nicoya. Índices de transporte de pasajeros. (CCM, 2011)

Donde,

AIJS: índice de crecimiento de pasajeros que ingresan por el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

AIDO: índice de crecimiento de pasajeros que ingresan por el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber

Puede apreciarse en la figura anterior que el transporte de pasajeros que utilizan la ruta de Playa Naranjo es proporcional al número de personas que ingresan por el aeropuerto Juan Santamaría. Sin embargo, las obras del proyecto sobre la ruta de Playa Naranjo se clasifican como obras relevantes y no como esenciales debido a que existen rutas alternativas, como el servicio de cabotaje de Paquera o la ruta a través del Puente de la Amistad por el Río Tempisque. En la Figura 44 se muestra también el índice de crecimiento de pasajeros que ingresan a través del Aeropuerto Internacional Daniel Oduber, sin embargo, estos no representan usuarios lógicos del servicio de cabotaje del Golfo de Nicoya.

Así,

$$\frac{C_{RI}}{C_o} = 1 \times (1 + 5) = 5$$

De esta manera es posible determinar el IRE:

$$IRE = \frac{\$1.824.550}{\$846.100,30} + 5$$

$$IRE = 7.16$$

Cálculo del ISA

$$ISA = ISA_1 + ISA_2 + ISA_3$$

Donde,

ISA₁: Evalúa la pérdida de vidas humanas

ISA₂: Evalúa daños al medio ambiente

ISA₃: Evalúa la alarma social generada por el cese de operaciones.

Cada uno de los ISA_i es evaluado según parámetros establecidos en la ROM 0.0 (2001), otorgando un valor numérico según una característica cualitativa del factor evaluado, según se muestra en el Cuadro 13.

ISA₁ = 3 → La pérdida de vidas humanas en caso de fallo estructural es posible pero poco probable.

ISA₂ = 0 → Es improbable que se produzcan daños al medio ambiente ante un fallo de estructura.

ISA₃ = 0 → No indicios de que haya alarma social significativa por el cese de las operaciones.

Entonces,

$$ISA = 3 + 0 + 0 = 3$$

Estimación de la vida útil del proyecto

De acuerdo con el procedimiento de la ROM, una vez se obtiene el IRE se pasa a clasificar el proyecto con base en su repercusión económica según se detalla a continuación:

R1: Obras con repercusión económica baja (IRE ≤ 5).

R2: Obras con repercusión económica media (5 < IRE ≤ 20).

R3: Obras con repercusión económica alta (IRE > 20).

El siguiente paso es correlacionar el IRE con la vida útil mínima del proyecto. Para ello se utiliza el Cuadro 12. En el caso de este proyecto se obtuvo un IRE de 7.16, por lo que la vida útil de diseño debe ser de 25 años. Se consultó con la División Marítimo Portuaria del MOPT su criterio sobre dicha vida útil, y les pareció adecuada considerando la alta inversión inicial que debe realizarse.

| CUADRO 12. CORRELACIÓN DEL IRE CON LA VIDA ÚTIL MÍNIMA DEL PROYECTO (ROM 0.0, 2001) | | | |
|--|-----|-------|------|
| IRE | ≤ 5 | 6 -20 | > 20 |
| Vida útil en años | 15 | 25 | 50 |

Elaborado con Microsoft Word

| CUADRO 13. VALORES PROPUESTOS PARA EL CÁLCULO DEL PARÁMETRO ISA (ROM 0.0, 2001) | | |
|--|--|------------------------|
| Parámetro | Característica Cualitativa | Valor Propuesto |
| ISA ₁ | <u>Remoto</u> . Improbable pérdida de vidas humanas | 0 |
| | <u>Bajo</u> . La pérdida de vidas humanas es posible pero poco probable | 3 |
| | <u>Alto</u> . La pérdida de vidas humanas es muy probable pero afectando a un número no elevado de personas | 10 |
| | <u>Catastrófico</u> . La pérdida de vidas humanas y daños a las personas es tan grave que afecta a la capacidad de respuesta regional. | 20 |
| ISA ₂ | <u>Remoto</u> . Es improbable que se produzcan daños ambientales o al patrimonio. | 0 |
| | <u>Bajo</u> . Daños leves reversibles (en menos de un año) o pérdidas de elementos de escaso valor. | 2 |
| | <u>Medio</u> . Daños importantes pero reversibles (en menos de cinco años) o pérdidas de elementos significativos del patrimonio. | 4 |
| | <u>Alto</u> . Daños irreversibles al ecosistema o pérdidas de unos pocos elementos muy importantes del patrimonio. | 8 |
| | <u>Muy Alto</u> . Daños irreversibles al ecosistema, implicando la extinción de especies protegidas o la destrucción de espacios naturales protegidos o un número elevado de elementos importantes del patrimonio. | 15 |
| ISA ₃ | <u>Bajo</u> . No hay indicios de que pueda existir una alarma social significativa asociada al fallo de la estructura | 0 |
| | <u>Medio</u> . Alarma social mínima asociada a valores de los subíndices ISA1 e ISA2 altos. | 5 |
| | <u>Alto</u> . Alarma social mínima debida a valores de los subíndices ISA1, catastrófico e ISA2, muy alto. | 10 |
| | <u>Máxima</u> . Alarma social máxima | 15 |

Elaborado con Microsoft Word

Estimación de la probabilidad de fallo del proyecto

De acuerdo con la ROM 0.0 (2001) se procede a clasificar el proyecto de acuerdo con la repercusión social y ambiental por medio del ISA, según se muestra a continuación:

- S1, obras sin repercusión social y ambiental significativa, ISA < 5
- S2, obras con repercusión social y ambiental baja, $5 \leq \text{ISA} < 20$
- S3, obras con repercusión social y ambiental alta, $20 \leq \text{ISA} < 30$
- S4, obras con repercusión social y ambiental muy alta, ISA > 30

Para el valor de ISA calculado anteriormente (ISA = 3), se tiene que es menor a 5, por lo que el proyecto se clasifica como obras sin repercusión ambiental y social significativa.

| CUADRO 14. MÁXIMA PROBABILIDAD CONJUNTA EN LA FASE DE SERVICIO PARA LOS E.L.U. (ROM 0.0, 2001) | | | | |
|---|-----|-------|-------|--------|
| ISA | < 5 | 5 -19 | 20-29 | > 30 |
| Probabilidad de fallo | 0.2 | 0.1 | 0.01 | 0.0001 |

Elaborado con Microsoft Word

E.L.U: Estados límites últimos

Según el Cuadro 14, para establecer que la máxima probabilidad conjunta de fallo frente a los modos de falla principales adscritos a los Estados Límites Últimos por considerar debe ser de 0.20.

Esto significa que para el período de diseño establecido de 25 años, solo puede presentarse un 20% de probabilidad de que el estado límite conjunto de los modos de falla se presente.

Estimación del período de retorno de las acciones por diseñar

El régimen de acciones extremas proporciona la probabilidad de no excedencia de cada acción de una intensidad dada y simultáneamente- ya que está relacionado con esta probabilidad- el período medio de retorno definido como el número medio de años que debe transcurrir entre la presentación de 2 acciones cuyas intensidades excedan una dada.

El criterio más extendido para seleccionar el período de retorno de diseño es el propuesto por Borgman (Alfaro, 2009) que relaciona el período de retorno (P_R) con la probabilidad de presentación de ese valor durante la vida útil del proyecto a través de la siguiente ecuación:

$$P_R = \frac{1}{1 - (1 - PF)^{1/v}}$$

Donde,

P_R : Período de retorno

PF: Probabilidad de fallo

v: vida útil del proyecto

Se tiene entonces que,

$$P_R = \frac{1}{1 - (1 - 0.20)^{1/25}} = 112 \text{ años}$$

Análisis del resultado del período de retorno obtenido

El período de retorno calculado en el apartado anterior fue obtenido a través de una metodología empírica que ubica al proyecto en un contexto social, económico y ambiental dentro del país. El siguiente paso es evaluar técnicamente la factibilidad de diseñar las instalaciones portuarias de Playa Naranjo para dicho período de retorno.

En el caso de los duques de alba, las acciones que van a regir el diseño son las cargas relacionadas con la embarcación, es decir, la fuerza generada por el atraque y las fuerzas transmitidas a la estructura por efectos del oleaje, viento, corrientes astronómicas y amarras cuando la embarcación esté atracada. Esto implica que las cargas de oleaje, viento y corrientes transmitidas directamente a la estructura son despreciables respecto a aquellas transmitidas a través de la embarcación, debido a que el área afectada por las acciones anteriormente mencionadas es mucho mayor, y por ende sus efectos son también mucho mayores.

Las instalaciones marítimo-portuarias son afectadas por criterios de niveles óptimos de operatividad y situaciones especiales que generan paradas operativas. Los niveles óptimos de operatividad se refieren al rango en que las acciones medio-ambientales permiten el funcionamiento adecuado y seguro de las instalaciones portuarias. Por ejemplo, la ROM 3.1-99 (2000) establece que las operaciones de carga y descarga de las embarcaciones deben suspenderse cuando la velocidad absoluta del viento supere los 22 m/s. Esta misma ROM establece también el valor límite de las acciones medioambientales que pueden haber en el sitio de atraque para permitir la permanencia de la embarcación en el atracadero. Una vez se alcance este valor, la embarcación debe abandonar el sitio de atraque y buscar refugio en mar abierto.

En el Informe de CCM (2011), se realizó un análisis de la operatividad de la terminal de Playa Naranjo. En el estudio se determinó que el nivel de operatividad mínimo que debe tener la terminal durante el año es de un 85%. Esto implica que el número de paradas operativas máximas permisibles al año debe ser de 10 con

una duración admisible de parada de 24 hrs cada una para cumplir satisfactoriamente con la operatividad mínima.

A continuación se muestra un cuadro con las condiciones limitantes de operación de un ferry en instalaciones portuarias.

| CUADRO 15. CONDICIONES LÍMITE DE OPERACIÓN DE UN FERRY EN UN ATRACADERO (ROM 3.1-99, 2000) | | | |
|---|---|---|--------------------------|
| | Velocidad absoluta del viento (m/s) | Velocidad absoluta de la corriente (m/s) | Altura de Ola (m) |
| Atraque de embarcaciones | | | |
| Acciones en sentido longitudinal a la embarcación | 17 | 1 | 2 |
| Acciones en sentido transversal a la embarcación | 10 | 0.1 | 1.5 |
| Paralización de las operaciones (entrada o salida de pasajeros o vehículos) | | | |
| Acciones en sentido longitudinal a la embarcación | 22 | 1.5 | 0.5 |
| Acciones en sentido transversal a la embarcación | 22 | 0.5 | 0.3 |
| Permanencia de buques en las facilidades de atraque | Limitaciones impuestas por las cargas de diseño de las facilidades portuarias | | |

Elaborado con Microsoft Word

El Cuadro 1.4 (Anexo 1) presenta la velocidad media del viento con una probabilidad de no excedencia del 85% para Playa Naranjo. De dicho cuadro se determina que la velocidad media máxima es de 3,20 m/s. Comparándola con el límite de operación del Cuadro 15 (22 m/s), se aprecia que la terminal cumple con el límite de operación. De la Figura 1.20 (Anexo 1), se aprecia que los máximos valores de corrientes generadas por las mareas astronómicas en el sitio en estudio es del orden de 0.30 m/s, por lo que también cumple el límite de operación (0.30 m/s). De las figuras del Anexo 1 que hacen un análisis del oleaje es posible también concluir que los valores de oleaje son menores que los establecidos en el cuadro anterior. Se determina así que la Terminal de Playa Naranjo cumple con todos los límites de operatividad necesarios para garantizar un nivel de operatividad del 85%.

Del Cuadro 15 es posible ver que el límite para que se dé la permanencia de buques en las facilidades portuarias está restringido por las limitaciones impuestas a las cargas de diseño de estas. Debe tenerse en cuenta que tanto el Ferry San Lucas I como el Ferry San Lucas II tienen su

garaje en la Terminal de Barrio El Carmen, es decir, es ahí donde pasan los momentos en los cuales no se encuentran operando (p.e. en las noches) y donde reciben su mantenimiento. Se concluye de ello, que los ferries permanecen en Playa Naranjo solamente durante sus ciclos de operación de carga y descarga de pasajeros y vehículos más un corto lapso que transcurre entre la llegada de un viaje (operaciones de descarga) y la salida del siguiente (operaciones de carga). Por tanto, las acciones de diseño están limitadas a los ciclos de operación de los ferries. No es técnica ni económicamente justificable diseñar las instalaciones portuarias para eventos extremos en los que se supere el límite de operación del Cuadro 15.

CUADRO 16. VELOCIDADES MEDIAS DE VIENTO PARA EVENTOS EXTREMOS EN PLAYA NARANJO (CCM, 2011)

| Período de retorno Tr (años) | W | NW | N | NE | E |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | U (m/s) | U (m/s) | U (m/s) | U (m/s) | U (m/s) |
| 1 | 12.04 | 12.47 | 14.53 | 20.40 | 15.79 |
| 5 | 14.37 | 17.74 | 19.05 | 25.11 | 19.44 |
| 25 | 16.57 | 23.43 | 23.56 | 29.61 | 22.88 |
| 50 | 17.47 | 25.99 | 25.50 | 31.50 | 24.30 |

Elaborado con Microsoft Word

Como se mencionó anteriormente, el viento es la acción medioambiental de diseño dominante en el sitio específico de Playa Naranjo. También se mencionó que las acciones transmitidas a la estructura a través del bote (viento, oleaje, corrientes y amarras) serán las acciones máximas que deberá soportar la estructura. Partiendo de la premisa de que cuanto mayor sea el período de retorno de un evento extremo mayor será su valor, puede apreciarse en el cuadro anterior que para el período de retorno calculado anteriormente de 112 años, la velocidad absoluta del viento superará los 31.5 m/s (valor máximo para un P_R igual a 50 años). Se estableció también que una vez se supere los 22 m/s la embarcación no estará operando y deberá retirarse de las facilidades de atraque buscando mar abierto. Esto implica que la posibilidad de que el evento extremo de vientos con velocidades mayores a 22 m/s se dé con el barco atracado es imposible, ya que por regulaciones de seguridad se prohíbe a los ferries permanecer en el atracadero. Recuérdese que a diferencia de un sismo, un temporal medioambiental no es súbito ni inesperado, sino que es progresivo y fácilmente predecible por la tecnología actual. Por ende, los operarios de la terminal no esperarán a que se alcancen los vientos de 22 m/s para retirar la embarcación, sino que lo harán con suficiente anticipación.

Se determina entonces que el período de retorno más factible para diseñar las instalaciones de atraque es para un período de retorno de 25 años, momento según el Cuadro 16 en que se empiezan a dar valores superiores de viento a los

22 m/s (en este punto el barco ha abandonando el atracadero y no pueden alcanzarse valores mayores de carga). Por consiguiente, las condiciones propias de operatividad de Playa Naranjo se cumplirán satisfactoriamente, e incluso cuando se alcancen los eventos extremos con período de retorno de 1, 5 y 25 años la terminal podrá seguir operando pues las velocidades del viento son menores a 22 m/s.

De toda esta deducción es interesante recalcar que, por ejemplo, en el diseño sísmo resistente de una edificación, no se puede pensar en retirar toda la carga temporal para el momento en que se dé el evento de diseño y aliviar así sus efectos. Por otro lado, para el diseño de los duques de alba propuestos sí es posible tener control del momento en que se encuentre la embarcación atracada y se produzcan los máximos efectos, pudiendo retirar el agente que produce la máxima carga (la embarcación) y que no se encuentre atracado en la estructura para el momento en que se dé el temporal de diseño.

Determinación de la embarcación de diseño

Analizando el Cuadro 5 de demandas probables de la Ruta de Puntarenas – Playa Naranjo, puede notarse que para el año 2026 el número de viajes será de 6469/año. Según un crecimiento exponencial, se tiene que para el año 2037 el número de viajes será de aproximadamente 8567/año. Esto significa 2.7 viajes más que en el presente año. Tal y como se vio en el Estudio Técnico, COONATRAMAR utiliza el ferry San Lucas I como equipo principal, y el San Lucas II solo para momentos en los cuales hay picos en la demanda. Para satisfacer el incremento en la demanda COONATRAMAR requiere incrementar el número de viajes por día o adquirir una embarcación nueva.

Por recomendación de la Dirección de Gestión - DMP – MOPT se determina entonces que la nave de diseño del nuevo sistema de duques de alba de la terminal de Playa Naranjo será el ferry San Lucas II, partiendo de la premisa de que existir una futura embarcación será de características similares a esta. No es de esperar que COONATRAMAR adquiera una nave de mayores dimensiones debido a las características

de la demanda de la ruta. Adicionalmente, se han realizado estudios socioeconómicos que demuestran una vulnerabilidad en la ruta, y que eventualmente la misma podría desaparecer a mediano o largo plazo, injustificando así la inversión de un ferry de mayores dimensiones.

Definición de las acciones de análisis

En el Marco Teórico se definió el tipo de acciones generales que suelen tener incidencia en un proyecto marítimo portuario. En este apartado se definirán las acciones específicas que se tomarán en cuenta para el diseño de las dos propuestas de duques de alba. Así, las cargas por tomar en cuenta en el presente proyecto son las siguientes:

Cargas permanentes: se considerará como cargas permanentes el peso propio de los componentes estructurales.

Cargas variables: las cargas variables que tendrán incidencia en el proyecto son las siguientes:

- *Cargas variables de uso o explotación:* serán aquellas cargas producidas por las operaciones de los buques; entiéndase las cargas producidas por el atraque del ferry y las cargas de amarras. Se considerarán, dentro de este apartado, las cargas medioambientales transmitidas indirectamente a la estructura a través del ferry producto del viento, el oleaje y las corrientes astronómicas. Se incluirán dentro de estas, las fuerzas de rozamiento producidas por los movimientos de la embarcación.
- *Cargas medioambientales:* las cargas medioambientales que actúan sobre la estructura directamente NO serán consideradas en el diseño. En la literatura y la experiencia de proyectos similares es ampliamente reconocido que para la tipología estructural de un duque de alba las acciones transmitidas directamente por los agentes medioambientales son despreciables respecto a las acciones

transmitidas por esos mismos agentes medioambientales a través de la embarcación de proyecto. Estos efectos ya están contemplados en las cargas variables de uso o explotación. Este punto se retomará adelante más ampliamente.

Cargas accidentales: se considerará como cargas accidentales aquellas cargas producidas por sismo.

Determinación de las combinaciones de carga

En obras marítimas y portuarias, la naturaleza y características de las cargas de diseño, las diferentes posibilidades de actuación conjunta compatible de varias cargas variables con distintos orígenes, dan lugar a diferencias relevantes con respecto a lo usual en obras de edificación y puentes.

El valor de cálculo de una acción por considerar en cada una de las combinaciones de carga será obtenido mediante la ponderación de su valor representativo y un coeficiente de amplificación de carga.

Las combinaciones de carga dependen de la fase de proyecto u operación que se esté considerando, tomando en cuenta únicamente aquellas acciones cuya actuación simultánea sea compatible.

Con el fin de valorar la actuación simultánea de las acciones variables se considerarán dos fases principales de proyecto: la fase de construcción y la fase de operación. La fase de operación se subdividirá en las operaciones de atraque y las operaciones de carga y descarga.

Los factores de amplificación de cargas fueron obtenidos a partir de la ROM 0.2-90 (1992). Serán determinadas combinaciones de carga para evaluar estados límites últimos y estados límite de servicio.

Los estados límites últimos por evaluar son aquellos producidos por agotamiento o rotura, colapso progresivo y fatiga. Los estados últimos de servicio evalúan el desempeño de la estructura frente a deformaciones y desplazamientos.

Se recuerda que cada combinación de carga representa un escenario hipotético y probabilista que llevará la estructura a la falla (Chaverri, 2010). Las combinaciones de carga por considerar en el proyecto son las siguientes:

Combinaciones para estados límite últimos

Se distingue entre las operaciones de atraque y las operaciones que realiza la embarcación una vez esté atracada y se dé la descarga y carga de vehículos y pasajeros.

Tal y como se verá más adelante, debido a la dirección del oleaje, las corrientes astronómicas y el viento, la estructura sufrirá dos efectos diferentes, independientes y no compatibles; se trata de cargas de empuje contra los duques de alba debido a la acción de los agentes antes mencionados sobre el ferry y cargas de amarras cuando esos mismos agentes no empujan el ferry contra la estructura, sino que más bien lo tratan de alejar de ella. En estos dos casos sí debe considerarse las fuerzas de rozamiento entre el barco y la estructura debido al carácter dinámico, desplazamientos y oscilaciones de la embarcación.

A efectos de combinación de acciones, las cargas debidas al sismo serán consideradas como casos accidentales.

Las combinaciones de carga consideradas son las siguientes (ROM 0.2-90, 1992):

- Operación de atraque:
 - (1) $1.35 CP + 1.50 CA \pm 1.50 CR_1$
- Embarcación atracada:
 - (2) $1.35 CP + 1.50 CE_1 \pm 1.50 CR_2$
 - (3) $1.35 CP + 1.50 CC_1$
- Condiciones accidentales:
 - (4) $1.1 CP \pm CS + 0.6 (CE_2 \pm CR_3)$
 - (5) $1.1 CP \pm CS + 0.6 CC$

Donde,
CP: cargas permanentes

- CA:** carga de atraque
- CE₁:** carga de empuje de la embarcación sobre la estructura durante evento extremo
- CE₂:** carga de empuje de la embarcación bajo condiciones normales de operación
- CR₁:** carga de rozamiento de la embarcación debido al atraque.
- CR₂:** carga de rozamiento de la embarcación con la estructura cuando esta se encuentra atracada.
- CR₃:** carga de rozamiento de la embarcación con la estructura cuando esta se encuentra atracada en condiciones normales de operación.
- CC₁:** cargas de amarras durante evento extremo
- CC₂:** cargas de amarras bajo condiciones normales de operación
- CS:** cargas debidas a sismo

Combinaciones para estados límite de servicio

Las combinaciones que se utilizarán para evaluar los estados límite de servicio son las siguientes (ROM 0.2-90, 1992):

$$(6) CP + CA \pm CR_1$$

$$(7) CP + CE_1 \pm CR_2$$

$$(8) CP + CC_1$$

La notación es coincidente con la definida anteriormente.

Diseño del sistema de defensas

Determinación de la energía de atraque

Según se vio en el Marco Teórico, la energía de atraque es determinada por la fórmula:

$$E = \frac{M_s V^2}{2g} C_e C_m C_s C_c$$

Donde,
 E_f = energía de atraque de la embarcación (KNm)
 M_s = masa de la embarcación (Tonelaje de desplazamiento DPT) (ton)

V = velocidad de ataque
 C_e = coeficiente de excentricidad
 C_m = coeficiente virtual de masa
 C_s = coeficiente de ablandamiento
 C_c = coeficiente de configuración del atracadero

Por falta de investigación al respecto, C_s y C_c adquieren un valor estándar de 1 en el cálculo.

Determinación de la masa del barco: M_s

Se utilizarán correlaciones (PARI, 2009) para calcular el tonelaje de desplazamiento cargado (DPT) a partir del tonelaje de registro bruto (TRB), se tiene para ferries de corta distancia que:

$$\text{Log(DPT)} = 0.506 + 0.904\text{Log(TRB)}$$

Del Cuadro 8 se tiene que para el San Lucas II $\text{TRB} = 1058$ ton

$$\text{Log(DPT)} = 0.506 + 0.904 \text{Log}(1058)$$

$$\text{DPT} = M_s = 1738.34 \text{ ton}$$

Determinación de la velocidad de ataque: V

Considerando una entrevista realizada al Sr. Miguel Salas Granados (2011), capitán del San Lucas II, se determinó que la velocidad típica de ataque es de 10 - 15 cm/s (dependiendo de las condiciones medioambientales), los cuales son valores coincidentes con los recomendados en la literatura para este tipo de embarcaciones. Ahora bien, considerando situaciones excepcionales se diseñará para una velocidad dos veces superior a la velocidad típica de ataque (Bridgestone, 1998) de 30 cm/s. Esta velocidad toma en cuenta situaciones accidentales; por ejemplo, considera la posibilidad de que el ferry se quede sin motores durante las maniobras de ataque, lo cual podría traducirse en un aumento de la velocidad de la embarcación producto del viento, el oleaje y/o las corrientes. Diseñando para una velocidad de ataque de 30 cm/s también se cubren los efectos producidos por el ferry San Lucas I, el cual tiende a atracar con mayor velocidad debido a que sus dimensiones son menores, siendo una velocidad de 30 cm/s, tal y

como se comentó anteriormente, igualmente alta para esta embarcación.

Determinación del coeficiente hidrodinámico de masa: C_m

$$C_m = 1 + \frac{2d}{B}$$

Donde,
 B : manga del barco
 d : calado cargado

Del Cuadro 8, se tiene que $d = 2.50\text{m}$ y $B = 12\text{m}$

$$C_m = 1 + \frac{2 \times 2.50\text{m}}{12\text{m}} = 1.42$$

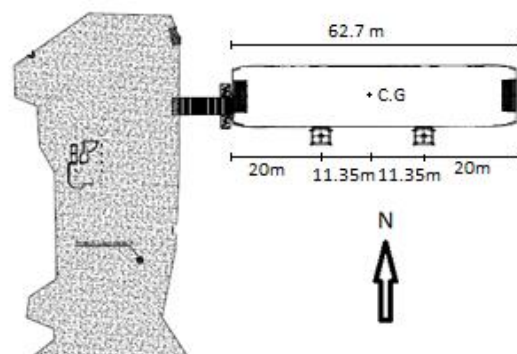
Determinación del coeficiente de excentricidad: C_e

$$C_e = \frac{1}{1 + \frac{l}{r}}$$

Donde,
 l = distancia entre el punto donde la nave toca la estructura de atraque y el centro de gravedad de la embarcación. Medido paralelo al atracadero.

(m)
 r = radio de giro de la embarcación (m). El radio de giro se toma como $\frac{1}{4}$ de la eslora (Bridgestone, 1998).

Considérese el siguiente esquema para el cálculo del factor de excentricidad:



AUTOCAD 2007
Figura 45. Esquema de cálculo del factor C_e

Notas: En una entrevista realizada al Sr. Miguel Salas Granados (2011), capitán del San Lucas II, este comentó sobre incidentes ocurridos antes de la construcción del duque central actual, en los cuales el ferry San Lucas I pasaba en medio de los dos duques extremos, dificultando y poniendo en peligro la maniobra de atraque. De esta manera, la posición de los duques a proponer debe garantizar que durante la maniobra de atraque tanto el ferry de diseño como el San Lucas I (de menores dimensiones) hagan contacto con ambos duques, por lo que se decide colocar dos duques de alba a 1/3 y 2/3 de la eslora del ferry de diseño, para garantizar lo anteriormente descrito.

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{11.35m}{62.7m/4}\right)} = 0.58$$

Determinación de la energía de atraque

$$E_f = \left(\frac{1738,2 \text{ ton} \times (0.30 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 1 \times 1} \right) \times 0.58 \times 1.42$$

$$E_f = 6.57 \text{ ton-m} = 64.5 \text{ kN-m}$$

Selección de las defensas

Debido a que los cambios de marea en el Golfo de Nicoya pueden ser de hasta 3.5m, es conveniente utilizar un tipo de defensas capaces de brindar protección en todos los estados de marea. Con la experiencia vista en la Terminal de Barrio El Carmen se decide escoger las defensas circulares con panel frontal, precisamente porque el panel permite cubrir toda la altura del cambio de la marea sin variar el punto de aplicación de la reacción. Se hará una selección de defensas de dos fabricantes distintos, a saber: Shibata y Bridgestone.

Selección del tipo de defensas Shibata

Este fabricante llama a las defensas circulares de panel frontal con el nombre comercial de defensas SPC (Super Circle Fender).

Se escoge según catálogo de diseño, la defensa SPC 600H FC10 (en el Anexo 6 se muestra la curva de desempeño), con las siguientes propiedades:

Deflexión de desempeño recomendada: 70%

Fuerza de reacción (F_R): 229 kN = 23.36 ton

Energía absorbida (E_a): 71.90 kN-m = 7.33 ton-m

Ajuste por el Factor de Corrección Angular: F_{ca}

Se supondrá un ángulo de aproximación de 9° , el cual es elevado pues según la literatura no suele ser mayor a 6° .

Según el Manual de Diseño Shibata, para el ángulo de aproximación propuesto los factores de corrección angular serán los siguientes:

Fuerza de reacción $\rightarrow F_{ca} = 1.00$

Energía de atraque $\rightarrow F_{ca} = 0.989$

Así, los datos de diseño corregidos de la defensa seleccionada son los siguientes:

$F_R = 229 \text{ kN} \times 1.00 = 229 \text{ kN}$ (23.36 ton)

$E_a = 71.90 \text{ kN-m} \times 0.989 = 71.11 \text{ kN-m}$ (7.25 ton-m)

Por lo tanto, $E_a > E_f \rightarrow$ La defensa es adecuada para soportar la carga propuesta.

Seleccionando la dimensión del panel frontal:

En el caso de los ferries su estructura es bastante reforzada, por lo que la presión sobre el casco no es evaluada (PARI, 2009). El panel frontal de la embarcación se escogerá con base en los cambios del nivel de marea (recuérdese que en el Golfo de Nicoya el cambio es de hasta 3.5m).

Se propone un panel de 1m de ancho por 4.5m de longitud. Este debe estar cubierto por almohadillas de baja fricción UHMW-PE (Fabricante: Shibata), las cuales son resistentes a la corrosión, al agua marina y a altos impactos. Su principal característica es el bajo coeficiente de fricción que posee ($\mu \approx 0.15$), lo cual permite reducir considerablemente las fuerzas cortantes

producidas por la embarcación sobre la estructura.

Selección del tipo de defensas Bridgestone

Este fabricante llama a las defensas circulares de panel frontal con el nombre comercial de defensas HC (Hiper Cell Fender).

Se escoge según catálogo de diseño, la defensa HC 600H J1 (en el Anexo 7 se muestra la curva de desempeño) con las siguientes propiedades:

Deflexión de desempeño recomendada: 70%
Fuerza de reacción (F_R): 225 kN = 23 ton
Energía absorbida (E_a): 75.5 kN-m = 7.7 ton-m

Ajuste por el Factor de Corrección Angular: F_{ca}

Se supondrá un ángulo de aproximación de 9° , el cual es elevado pues según la literatura no suele ser mayor a 6° .

Según el Manual de Diseño Bridgestone, para el ángulo de aproximación propuesto los factores de corrección angular serían los siguientes:

Fuerza de reacción $\rightarrow F_{ca} = 1.00$
Energía de ataque $\rightarrow F_{ca} = 0.99$

Así, los datos de diseño corregidos de la defensa seleccionada son los siguientes:

$F_R = 225 \text{ kN} \times 1.00 = 225 \text{ kN}$ (23 ton)
 $E_a = 75.5 \text{ kN-m} \times 0.99 = 74.75 \text{ kN-m}$ (7.62 ton-m)

Por lo tanto, $E_a > E_f \rightarrow$ La defensa es adecuada para soportar la carga propuesta.

Seleccionando la dimensión del panel frontal:

Según los mismos criterios anteriormente mencionados, se selecciona un panel de 1m A x 4.5m H. Según recomienda Bridgestone, se debe cubrir el panel con almohadillas de resina de polietileno, que tiene un coeficiente de fricción (μ) de 0.2.

Determinación de la carga de ataque (CA)

La carga de ataque (CA) corresponde a la reacción de la defensa al momento del impacto. Se utilizará la reacción de la defensa Shibata anteriormente seleccionada debido a que tiene la mayor magnitud de las dos defensas seleccionadas. Así, la carga de ataque es la siguiente:

$$CA = 23.36 \text{ ton}$$

Determinación de la carga de rozamiento (CR_1)

Siguiendo las recomendaciones de diseño de la ROM 02-90, para la determinación de las cargas de rozamiento al momento del impacto (CR_1) se considerará que en el momento de máxima deformación, en el punto de contacto ataque/buque no hay deslizamiento relativo, produciéndose únicamente una rotación alrededor del punto de contacto; y que el sistema de defensa es capaz de deformarse únicamente en la dirección normal a la superficie de ataque, aceptándose que defensa y estructura son rígidos en la dirección transversal.

En esas condiciones el valor máximo que puede existir tanto vertical como horizontalmente será:

$$CR_1 = \mu CA$$

Siendo,

CA: carga de ataque del proyecto

μ : coeficiente de rozamiento entre la superficie del sistema de defensa y el casco del buque en el área de contacto.

De acuerdo con la información de las defensas seleccionadas el valor de μ para la defensa Shibata es de 0.15 y para la defensa Bridgestone de 0.20. Sin embargo, la literatura recomienda tomar valores de μ del orden de 0.3 – 0.4, tomando en cuenta el desgaste de las superficies de los paneles de las defensas y la pérdida de sus propiedades durante la vida útil de los mismos. Entonces,

$$CR_1 = 0.35 (23.36 \text{ ton})$$

$$CR_1 = 8.18 \text{ ton}$$

Se recuerda que esta carga de rozamiento es producida por los movimientos de cabeceo y balanceo de la embarcación atracada, por lo que debe considerarse en sentido horizontal y vertical en todos los casos previsibles.

Determinación de las acciones del viento sobre el ferry

Como se anotó en el Marco Teórico, cuando el bote está en movimiento el viento actuante sobre el mismo es el viento relativo, calculado a partir del vector velocidad de la embarcación y el viento absoluto. Para este caso de análisis se considerará que el bote está detenido y es expuesto a la acción del viento, la cual deberá ser resistida por las defensas y las amarras. Así, el viento actuante sobre la embarcación será el viento absoluto. Se tendrá entonces que los efectos parciales del viento sobre el buque serán una componente en el sentido longitudinal F_{LV} , otra en el sentido transversal F_{TV} y un momento debido a la excentricidad de la fuerza resultante.

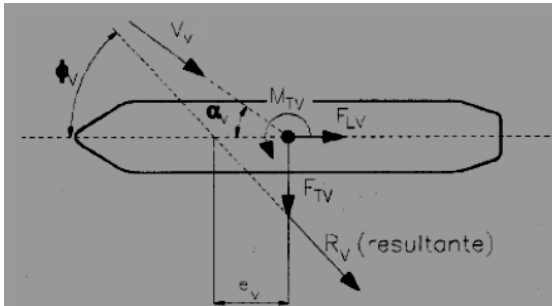


Figura 46. Esquema de cuerpo libre para el cálculo de las acciones del viento (ROM 3.1-99, 2000)

Donde,

V_v : viento absoluto. También denotado por la letra U

α_v : ángulo de incidencia del viento respecto al eje longitudinal del ferry

R_v : fuerza resultante sobre la embarcación

ϕ_v : ángulo formado por la fuerza resultante con el eje longitudinal del buque

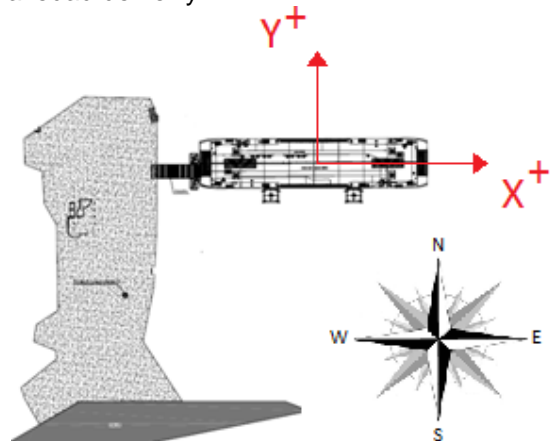
e_v : excentricidad respecto al centro de gravedad de la fuerza resultante

Para efectos de modelar el problema, se supondrá que el eje longitudinal del barco es

paralelo a la dirección W – E, debido a que no existen levantamientos topográficos confiables que permitan establecer con certeza la posición de la rampa de acceso en la terminal. Este caso es crítico, pues como se aprecia en el Cuadro 17, los vientos dominantes son los que provienen del norte y noreste, de manera que entre más perpendicular se encuentre la embarcación a dichas acciones mayores serán sus efectos.

Se recuerda que el vector viento indica la ubicación desde la cual procede. Por ejemplo, si el vector viento indica que su velocidad es W, esto indica que el viento procede del oeste y se dirige hacia el este.

La Figura 47 muestra la convención de signos por utilizar para las cargas de viento, corrientes y oleaje. Se muestra la ubicación del norte magnético. Se considerará positivo el momento de giro en sentido anti horario respecto a un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del ferry.



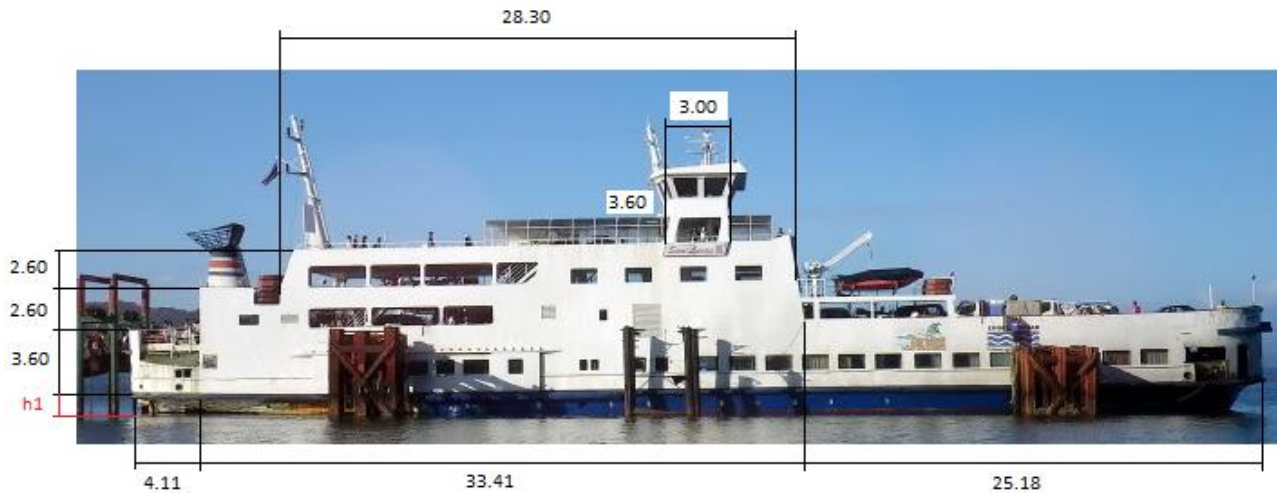
AUTOCAD 2007

Figura 47. Vista en planta del relleno de espigones de Playa Naranja y alineación del ferry

A continuación se muestra el ángulo α_v formado por el vector viento respecto al eje longitudinal del ferry:

| CUADRO 17. VELOCIDADES ABSOLUTAS DEL VIENTO DE DISEÑO PR = 25 AÑOS (CCM, 2011) | | | | | |
|--|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | Dirección | | | | |
| | W | NW | N | NE | E |
| V_v (m/s) | 16.57 | 23.43 | 23.56 | 29.61 | 22.88 |
| α_v ° | 0 | 45 | 90 | 45 | 0 |

Elaborado con Microsoft Word



AUTOCAD 2007
Figura 48. Vista lateral del San Lucas II (cotas en metros)

Determinación de las áreas de exposición al viento

Para calcular la fuerza resultante del viento es necesario conocer las proyecciones de áreas de los costados de la embarcación. Para ello se considerarán dos casos distintos de análisis:

- Caso 1: el ferry está completamente descargado.
- Caso 2: el ferry está cargado

Cálculo del área longitudinal A_{LV}

Considérese la siguiente Figura 48 para el cálculo del área longitudinal del ferry.

Se realizó un análisis de la fotografía de la Figura 48. En dicha imagen la eslora del ferry es la única dimensión conocida con certeza.

- Caso 1: La altura h_1 corresponde al puntal menos el calado (No cargado) para la situación en que el barco está descargado.
- Caso 2: h_1 es igual al puntal menos el calado cargado
- El resto de cotas se obtuvieron realizando medidas escaladas sobre la fotografía (son independientes del caso), es decir, se determinó un factor de escala a partir de la dimensión conocida y se midieron el resto de cotas.

Se procedió a calcular el área longitudinal del ferry (A_{LV}), dando los siguientes valores:

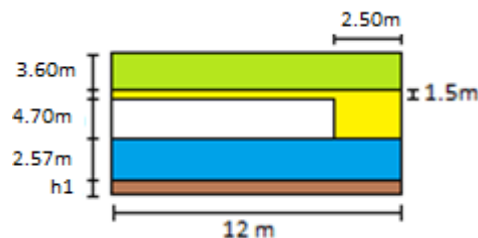
- Caso 1: $A_{LV} = 470 \text{ m}^2$
- Caso 2: $A_{LV} = 420 \text{ m}^2$

Cálculo del área transversal A_{TV}

Considérense las siguientes dos figuras para el cálculo del área transversal:



Figura 49. Vista trasera del San Lucas II (Fuente: desconocida)



AUTOCAD 2007
Figura 50. Modelo del área transversal del San Lucas II (sin escala)

Como puede apreciarse en la Figura 49, hay una gran sección abierta en la superestructura del ferry donde se ubican los vehículos (representada por el área blanca de la Figura 50).

- La altura h_1 se tomó con las mismas consideraciones del análisis anterior.
- Caso 1: Sección abierta es transparente al viento.

- Caso 2: Un 60% de la sección abierta es obstaculizada por los vehículos.

Con base en las suposiciones anteriores se procedió al cálculo del área transversal, dando los siguientes resultados.

Caso 1: $A_{TV} = 117 \text{ m}^2$

Caso 2: $A_{TV} = 123 \text{ m}^2$

En los resultados obtenidos se nota que el área transversal es prácticamente la misma para los dos casos considerados (% diferencia = 4.7%). Así que el caso que rige el diseño es el caso 1, pues es el que obtuvo mayor área longitudinal. En otras palabras, los mayores esfuerzos del viento sobre la embarcación se darán cuando esta se encuentre totalmente descargada.

→ Rige Caso 1: $A_{LV} = 470 \text{ m}^2$
 $A_{TV} = 123 \text{ m}^2$

Cálculo de las fuerzas resultantes del viento sobre el ferry

Al ser el Caso 1 el que rige el diseño, este análisis se realizará solo para esa condición. El cálculo se desarrollará según los lineamientos de la ROM 3.1-99 (2000) contenidos en el Anexo 2. La ecuación de cálculo es la siguiente (ver esquema de la Figura 46):

$$Rv = \frac{\rho}{2g} C_{VF} V_v^2 (A_{TV} \cos^2 \alpha_v + A_{LV} \sin^2 \alpha_v)$$

Donde,

ρ = densidad del aire ($1.225 \times 10^{-3} \text{ ton/m}^3$)
 g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

C_{VF} = factor de forma de la embarcación. A falta de una determinación más precisa sobre pruebas de modelo, puede utilizarse 1.3 para cualquier embarcación (ROM 3.1-99, 2000)

El resto de la nomenclatura según se definió anteriormente.

Despejando los valores de A_{LV} , A_{TV} , ρ , g y C_{VF} , la ecuación anterior se simplifica de la siguiente manera:

$$Rv = 8.125 \times 10^{-4} V_v^2 (123 \cos^2 \alpha_v + 470 \sin^2 \alpha_v)$$

Se tiene además que,

$$\tan \varphi_v = \frac{A_{LV}}{A_{TV}} \tan \alpha_v$$

$$F_{TV} = Rv \sin \varphi_v$$

$$F_{LV} = Rv \cos \varphi_v$$

$$M_{TV} = F_{TV} e_v = F_{TV} K_{ev} L$$

K_{ev} : coeficiente de excentricidad de la embarcación. Su valor depende del ángulo de incidencia del viento α_v . Su valor se obtiene del Anexo 2.

Despejando la ecuación anterior con los valores del Cuadro 18, obtenemos los siguientes resultados:

| CUADRO 18. ACCIONES RESULTANTES DEL VIENTO SOBRE EL FERRY | | | | | |
|--|-----------------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| | Dirección del viento | | | | |
| | W | NW | N | NE | E |
| Rv (ton) | 2.74 | 13.22 | 21.20 | 21.12 | 5.23 |
| φ_v (°) | 0.00 | 75.33 | 90.00 | 75.33 | 0.00 |
| F_{TV} (ton) | 0.00 | -12.79 | -21.20 | -20.43 | 0.00 |
| F_{LV} (ton) | 2.74 | 3.35 | 0.00 | -5.35 | -5.23 |
| k_{ev} | 0 | 0.105 | 0.04 | 0.105 | 0 |
| e_v (m) | 0 | 6.58 | 2.51 | 6.58 | 0 |
| M_{TV} (ton-m) | 0 | 84.23 | 53.16 | -134.52 | 0 |

Elaborado con Microsoft Excel

Determinación de las acciones de las corrientes sobre el ferry

Al igual que en el caso del viento, se considerará que el ferry está detenido y es expuesto a la acción de la corriente, así que la corriente actuante es la corriente absoluta.

Al ser el agua más densa que el aire, debe considerarse, en el caso de las corrientes, las cargas producidas por la presión, además de las generadas por la fricción del líquido sobre el casco de la embarcación; situación que es despreciable en el caso del viento.

A partir de las Figuras 1.16 a la 1.20 del Anexo 1, se establecieron cuatro casos de análisis, y se determinó la dirección de la corriente y la magnitud del efecto para cada uno de ellos, según se ilustra en el Cuadro 19.

Al igual que en el análisis del viento, puede realizarse un análisis estadístico de los valores medios de las velocidades de las corrientes de marea astronómica durante el año; estos valores medios tendrán picos máximos que pueden ser utilizados para realizar proyecciones estadísticas de eventos extremos. Sin embargo, no existen registros que permitan realizar dicho análisis para el sitio en estudio. En las Figuras 1.16 a la 1.20 del Anexo 1 se cuenta con una serie de simulaciones hidrodinámicas de 5 ciclos de marea para analizar el flujo del agua en las cercanías de las terminales de transbordadores del Golfo de Nicoya, con el fin de observar el comportamiento de las corrientes en las zonas.

No se conoce con certeza los datos de la marea con que se produjeron dichos resultados (mostrados en el Cuadro 19), por ejemplo su período o su amplitud, por lo que no se sabe si están relacionados a eventos de régimen medio o eventos de régimen extremo. El Ing. en Costas Henry Alfaro realizó en el año 2009 un estudio de las mareas astronómicas de Puntarenas con un período de registro de 9 años (2000-2008), de ahí se obtuvo la función de distribución de marea en función de la amplitud.

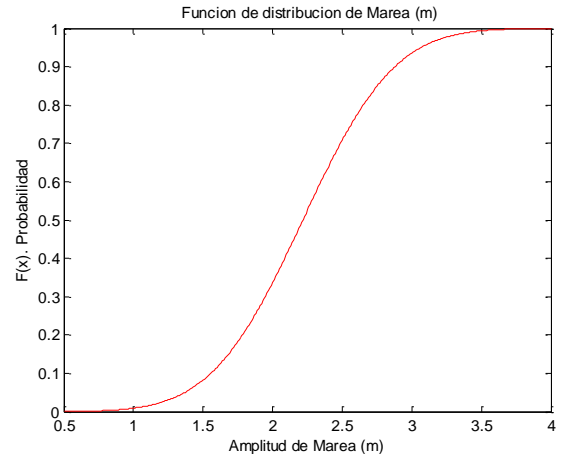


Figura 51. Función de distribución normal de marea en Puntarenas (Alfaro, H. 2009)

De la figura anterior se determina que para Puntarenas hay una probabilidad de excedencia del 1% de tener carreras de marea (amplitud) con valores de 3.81m respecto al NMBS (nivel de marea baja en sicigias); en otras palabras, hay un 99% de probabilidad de que en régimen medio dicho valor no sea excedido. Con base en dicha amplitud se procedió a utilizar una hoja de cálculo programada por el Ing. Luis Millán (gerente de la Marina Pez Vela) y se calculó la velocidad de la corriente generada por dicha amplitud para el caso de marea subiendo, calibrada al emplazamiento específico donde se ubica el muelle de cruceros de Puntarenas. Se obtuvo que para la amplitud de 3.81m la velocidad de corriente es de 0.14 m/s. Si comparamos dicha magnitud con la de las corrientes del Cuadro 19, se aprecia que el valor es mucho menor. Al estar la amplitud relacionada a valores de régimen medio, la velocidad de corriente también lo estará. Es posible decir que la probabilidad de excedencia de la velocidad de 0.14 m/s es también de 1%. Se concluye así que al ser los valores de corriente del Cuadro 19 mucho mayores al de la corriente calculada en régimen medio, están entonces relacionados a eventos de régimen extremo. Sin embargo, no se conoce la probabilidad de fallo a la que están relacionados o su período de retorno. Esto constituye una limitación en el diseño de las obras de atraque, pero al ser los únicos datos existentes, el diseño se realizará para dichos valores.

| CUADRO 19. VELOCIDADES ABSOLUTAS DE LAS CORRIENTES ASTRONÓMICAS DE DISEÑO (CCM, 2011) | | |
|---|-----------|-----------------|
| Caso | Dirección | Velocidad (m/s) |
| 1) Nivel medio del agua con marea subiendo | E | 0.40 |
| 2) Nivel máximo del agua en Pleamar | W | 0.01 |
| 3) Nivel medio del agua con marea saliente | W | 0.40 |
| 4) Nivel mínimo del agua en bajamar | E | 0.01 |

Elaborado con Microsoft Excel

Determinación de las acciones debidas a la presión

Determinación de las áreas de exposición a las corrientes

Se sabe de antemano que el caso más crítico para evaluar el efecto de las corrientes es cuando el ferry se encuentre totalmente cargado, lo cual implicará que el calado será máximo y por ende el área mojada será de mayor exposición.

En la ROM 3.1-99 (Anexo 3) se propone estimar dichas áreas de la siguiente manera:

$$A_{LC} = L_{pp} d$$

$$A_{TC} = B d$$

Donde,

A_{LC} : proyección del área longitudinal sumergida del ferry

A_{TC} : proyección del área transversal sumergida del ferry

L_{pp} : eslora entre perpendiculares

B : manga del ferry

d : calado cargado del ferry

Según Shibata (2002), para un ferry con una eslora total de 62.7m, la eslora entre perpendiculares es de aproximadamente 57m. Despejando las ecuaciones anteriores con los datos del Cuadro 7, tenemos que:

$$A_{LC} = 57m \times 2.50m = 142.5 m^2$$

$$A_{TC} = 12m \times 2.50m = 30 m^2$$

Cálculo de las acciones debidas a la presión

Las acciones debidas a la presión de las corrientes se pueden representar en una componente longitudinal (F_{LCP}), una componente transversal (F_{TCP}) y un momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del ferry (M_{TC}).

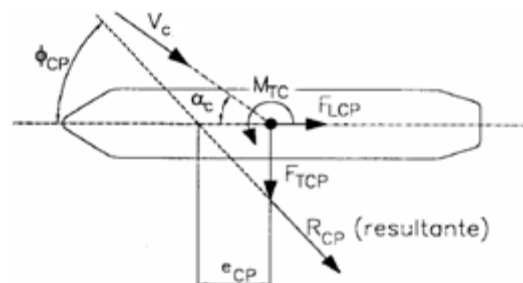


Figura 52. Esquema de cuerpo libre para el cálculo de los esfuerzos de presión sobre el ferry (ROM 3.1-99, 2000)

Donde,

V_c : velocidad absoluta de la corriente

α_c : ángulo de aproximación de la corriente respecto al eje longitudinal del ferry

R_{CP} : fuerza resultante de la presión de la corriente sobre el ferry

ϕ_{CP} : ángulo formado por la resultante de la presión respecto al eje longitudinal del ferry.

e_{CP} : excentricidad respecto al centro de gravedad de la resultante de la presión

El resto de la nomenclatura según se definió anteriormente.

De acuerdo con la ROM 3.1-99 (Anexo 3), las acciones anteriores pueden estimarse de la siguiente manera:

$$R_{CP} = \frac{\gamma_w}{2g} V_c^2 \frac{C_{CL} A_{TC} \cos^2 \alpha_c + C_{CT} A_{LC} \sin^2 \alpha_c}{\cos(\phi_{CP} - \alpha_c)}$$

Donde,

γ_w : peso específico del agua (1.03 ton/m³ para agua salada)

C_{CL} : factor del forma para el cálculo de las presiones de la corrientes sobre el ferry, actuando en la dirección de su eje longitudinal. A falta de una determinación más precisa la ROM 3.1-99

aconseja utilizar 0.6 para embarcaciones con proa convencional.

C_{CT} : factor de forma para el cálculo de la resultante de las presiones de la corriente sobre el buque actuando en la dirección de su eje transversal. Depende de la relación profundidad del agua / calado del buque y su determinación se realiza mediante la siguiente figura:

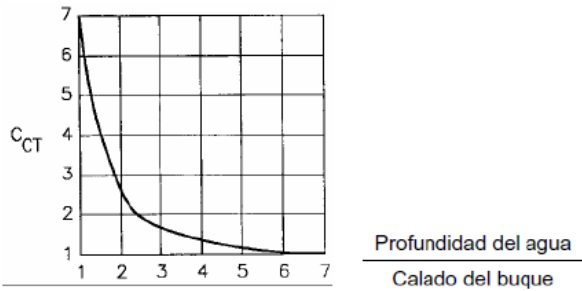


Figura 53. Cálculo del factor de forma C_{CT} (ROM 3.1-99, 2000)

Nótese en el Cuadro 19, que las direcciones de las corrientes para la terminal en estudio son W y E, paralelo a la alineación del ferry, por lo que el ángulo de aproximación de la corriente respecto al eje longitudinal del ferry (α_c) es de 0° . El ángulo formado por la resultante es estimado así,

$$\tan \varphi_{CP} = \frac{A_{LC}}{A_{TC}} \tan \alpha_c$$

Donde $\tan \alpha_c$ es igual a cero, por lo que φ_{CP} es igual a 0° .

Tomando en cuenta esta consideración y sustituyendo los valores dados anteriormente para las áreas de proyección y factores de la ecuación, tenemos que la ecuación de cálculo se simplifica de la siguiente manera:

$$R_{CP} = \frac{103}{109} V_c^2$$

Se tiene además que,

$$F_{LCP} = R_{CP} \cos \varphi_{CP}$$

$$F_{TCP} = R_{CP} \sin \varphi_{CP}$$

$$M_{CP} = F_{TCP} e_{CP} = F_{TCP} k_{ec} L$$

Donde,

K_{ec} : coeficiente de excentricidad. Según en Anexo 3, para $\alpha_c = 0^\circ \rightarrow K_{ec} = 0$. Así, $M_{TC} = 0 \text{ ton} - m$

Despejando los datos del Cuadro 19 en las ecuaciones anteriores, se obtienen los siguientes resultados:

| CUADRO 20. ACCIONES RESULTANTES DE LA PRESIÓN DE LA CORRIENTE SOBRE EL FERRY | | | | |
|---|------------------------------------|----------|----------|----------|
| | Dirección de la corriente absoluta | | | |
| | E | W | W | E |
| Caso | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Rv (ton) | 0.1512 | 0.0001 | 0.1512 | 0.0001 |
| ϕ_v (°) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| F_{TCP} (ton) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| F_{LCP} (ton) | -0.1512 | 0.0001 | 0.1512 | -0.0001 |

Elaborado con Microsoft Excel

Determinación de las acciones debidas a la fricción de corriente

Determinación de las áreas de exposición a las corrientes

En el caso de las acciones debidas a la fricción del agua sobre la embarcación, la ROM 3.1-99 (Anexo 4) recomienda que se calculen de la siguiente manera:

$$A_{TCF} = (L_{pp} + 2d) B$$

$$A_{LCF} = (B + 2d) L_{pp}$$

Donde,

A_{TCF} : área de la superficie del buque mojada transversalmente a la dirección de la crujía.

A_{LCF} : área de la superficie del buque mojada longitudinalmente a la dirección de la crujía.

Como se dijo anteriormente L_{pp} es aproximadamente 57m. Sustituyendo las ecuaciones con los valores del Cuadro 7, obtenemos que:

$$A_{TCF} = 744 \text{ m}^2$$

$$A_{LCF} = 969 \text{ m}^2$$

Cálculo de las acciones debidas a la fricción de corriente

La fricción de las corrientes van a producir una componente en el sentido longitudinal del ferry (F_{LCF}) y otra en el sentido transversal (F_{TCF}). En este caso se supone que la fuerza resultante (R_{CF}) actúa en el centro de gravedad de la embarcación, por lo que no se producirá momento, tal y como se aprecia en la siguiente figura:

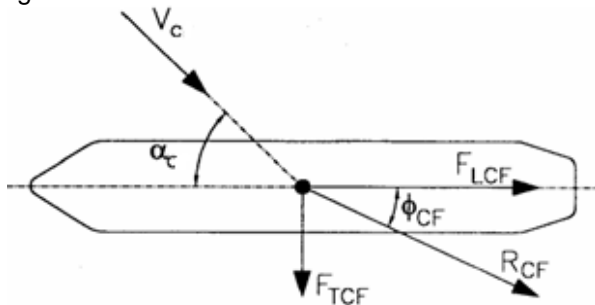


Figura 54. Diagrama de cuerpo libre para el cálculo de las acciones debidas a la fricción de las corrientes (ROM 3.1-99, 2000)

Donde,

ϕ_{CF} : ángulo formado sobre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante de fricción de corriente.

Nomenclatura coincidente con definiciones anteriores.

Las ecuaciones de cálculo son las siguientes:

$$F_{TCF} = \frac{\gamma_w}{2g} C_r V_c^2 A_{TCF} \sin^2 \alpha_c$$

$$F_{LCF} = \frac{\gamma_w}{2g} C_r V_c^2 A_{LCF} \cos^2 \alpha_c$$

Donde,

C_r : coeficiente de rozamiento. Debe diferenciarse entre buques nuevos y buques en servicio pues el estado de la microtextura de la coraza de la embarcación será distinta, lo que afecta el rozamiento del agua. La ROM 3.1-99 recomienda adoptar un valor de 0.004 para buques en servicio.

El resto de la nomenclatura es coincidente con definiciones anteriores.

Sustituyendo las ecuaciones anteriores con los datos del Cuadro 19, se obtiene que:

| CUADRO 21. ACCIONES RESULTANTES POR LA FRICCIÓN DE LAS CORRIENTES | | | | |
|--|------------------------------------|--------|--------|---------|
| | Dirección de la corriente absoluta | | | |
| | E | W | W | E |
| Caso | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_{TCF}(ton) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| F_{LCF}(ton) | -0.0326 | 0.0000 | 0.0326 | -0.0000 |

Elaborado con Microsoft Excel

Combinación de los efectos de presión y fricción debido a las corrientes

La suma de los efectos de presión y fricción sobre la embarcación debidas a las corrientes se resumen en el Cuadro 22.

| CUADRO 22. ACCIONES TOTALES SOBRE EL FERRY DEBIDAS A LAS CORRIENTES (CCM, 2011) | | | | |
|--|------------------------------------|--------|--------|---------|
| | Dirección de la corriente absoluta | | | |
| | E | W | W | E |
| Caso | 1 | 2 | 3 | 4 |
| F_{TC} (ton) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| F_{LC} (ton) | -0.1837 | 0.0001 | 0.1837 | -0.0001 |
| M_{TC} (ton- m) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |

Elaborado con Microsoft Excel

Determinación de las acciones del oleaje sobre el ferry

Como se mencionó anteriormente, el viento es el agente natural dominante en Playa Naranjo. El oleaje que se estudiará en este apartado es el oleaje tipo Sea, es decir, aquel oleaje local producido por la acción del viento sobre la superficie de la masa de agua. Se explicó ampliamente la selección del período de retorno de 25 años para el evento extremo de viento por considerar en el diseño. Siendo congruentes con este período de diseño, y al depender el oleaje

tipo Sea del viento, el evento extremo del oleaje por diseñar debe ser también de 25 años.

| CUADRO 23. DATOS DEL OLAJE DE DISEÑO (PR = 25 AÑOS) (CCM, 2011) | | |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Dirección | Altura del oleaje Hmo (m) | Período del oleaje Tp (s) |
| W | 0.8 | 3 |
| NW | 1.2 | 3.8 |
| N | 1 | 3.5 |
| NE | 2.1 | 5 |
| E | 1.3 | 3.9 |

Elaborado con Microsoft Excel

En el caso del oleaje, sus efectos se van a descomponer en una acción transversal (F_{TW}) y una longitudinal (F_{LW}). Se supone que el vector del oleaje incide sobre el centro de gravedad del ferry, por lo que no se producirá momento de giro alrededor del mismo.

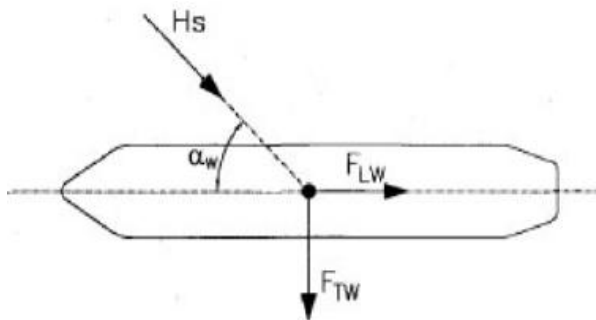


Figura 55. Diagrama de cuerpo libre para el cálculo de las acciones del oleaje sobre el ferry (ROM 3.1-99, 2000)

Donde,

Hs: altura de ola significativa

α_w : ángulo de incidencia del oleaje respecto al eje longitudinal del ferry

Nótese que en el Cuadro 23 la altura de oleaje se representa por la nomenclatura Hmo, diferente de la Hs de la Figura 55. La altura de ola significativa (Hs) es un parámetro geométrico estadístico representativo del oleaje, definido a partir de discretizar un registro de oleaje en olas individuales. Por otro lado, la altura de ola espectral (Hmo) es un parámetro espectral del oleaje considerado como estructural o de escala.

Son dos maneras de medir un mismo fenómeno; por recomendación de la ROM 0.3-91, los valores de altura significativa estadística y altura significativa espectral pueden considerarse coincidentes para un mismo registro de oleaje. Así, para efectos de este proyecto se tomará la altura de ola significativa (Hs) igual a la altura de ola espectral (Hmo).

Se considerará que el ferry está detenido y es expuesto a las condiciones del oleaje, por lo que será el oleaje absoluto el que tenga efectos en el diseño.

Las ecuaciones de cálculo para determinar las componentes de la acción del oleaje son las siguientes:

$$F_{TW} = C_{fw} C_{dw} \gamma_w H_s^2 L_{proy} \text{sen } \alpha_w$$

$$F_{LW} = C_{fw} C_{dw} \gamma_w H_s^2 L_{proy} \text{cos } \alpha_w$$

Donde,

C_{fw} : coeficiente de flotación. Se calcula en función de la longitud relativa de ola a la profundidad del emplazamiento L_{wr} y del calado del buque.

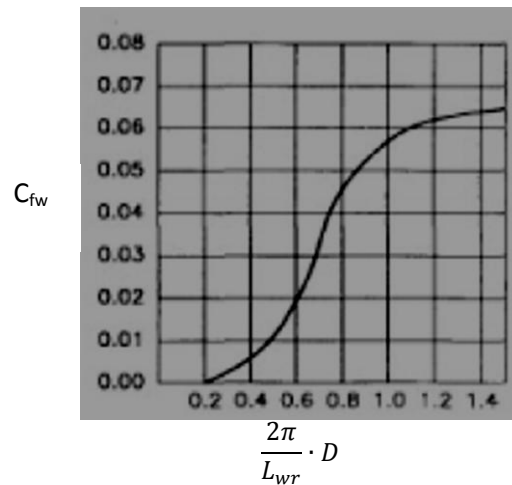


Figura 56. Gráfico para el cálculo del factor C_{fw} (ROM 3.1-99, 2000)

C_{dw} : coeficiente de profundidad. Se calcula en función de la longitud relativa de ola a la profundidad del emplazamiento (L_{wr}) y de la profundidad de agua existente en el emplazamiento (h). Según las batimetrías del Anexo 6, la profundidad promedio del sitio donde atracará el ferry es de 12.30m.

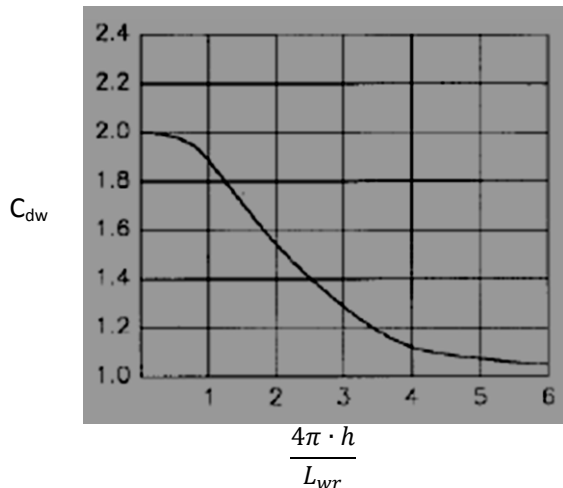


Figura 57. Cálculo del factor Cdw (ROM 3.1-99, 2000)

L_{proy} : longitud de la proyección de la embarcación en la dirección del oleaje incidente. La ROM 3.1-99 (2000) recomienda estimar su valor de la siguiente manera:

$$L_{proy} = L_{pp} \text{ sen } \alpha_w + B \text{ cos } \alpha_w$$

Sustituyendo los valores conocidos, tenemos entonces:

$$L_{proy} = 57m \text{ sen } \alpha_w + 12m \text{ cos } \alpha_w$$

L_{wr} : longitud de ola aparente o relativa al buque a la profundidad del emplazamiento. En este caso el ferry está detenido, por lo que L_{wr} es igual a la longitud de ola real (L_w). Kamphuis (2000) propone la siguiente ecuación iterativa para el cálculo de la longitud de onda; la misma depende

de la profundidad promedio del emplazamiento (h) y el período del oleaje.

$$L_w = \frac{gT_p^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{L} h\right)$$

Tomando en cuenta las ecuaciones anteriores se procede al cálculo de las acciones del oleaje sobre la embarcación.

Nota: considérese que la rampa de la terminal está ubicada al este del relleno de espigones, por lo que el relleno funciona como rompeolas para el oleaje incidente del oeste (se refleja en el Cuadro 24). Aquel oleaje proveniente del noroeste sí tiene incidencia sobre el ferry.

Determinación y análisis de las acciones totales sobre el ferry

Se muestra en el Cuadro 25 el resumen de las acciones producidas por las corrientes, el oleaje y el viento sobre la embarcación y la combinación de efectos probables. Se consideró los casos más críticos, es decir, cuando las corrientes astronómicas se encuentran entrando o saliendo del Golfo de Nicoya (su velocidad es máxima) y su efecto se suma vectorialmente al del viento y el oleaje.

| CUADRO 24. ACCIONES DEL OLAJE SOBRE EL FERRY | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|----------------|----------------|-----------|----------------|----------|--------------|----------|----------------|----------------|
| Dirección | Hs (m) | Tp (s) | α_w (°) | L_{proy} (m) | L_w (m) | $(2\pi/L_w) D$ | C_{fw} | $4\pi h/L_w$ | C_{dw} | F_{TW} (ton) | F_{LW} (ton) |
| W | 0.8 | 3 | 0 | 12.00 | 14.05 | 1.118 | 0.058 | 11.00 | 1 | 0.00 | 0.00 |
| NW | 1.2 | 3.8 | 45 | 48.79 | 22.50 | 0.698 | 0.035 | 6.87 | 1.03 | -1.84 | 1.84 |
| N | 1 | 3.5 | 90 | 57.00 | 19.11 | 0.822 | 0.048 | 8.09 | 1.01 | -2.85 | 0.00 |
| NE | 2.1 | 5 | 45 | 48.79 | 37.75 | 0.416 | 0.006 | 4.09 | 1.16 | -1.09 | -1.09 |
| E | 1.3 | 3.9 | 0 | 12.00 | 23.68 | 0.663 | 0.022 | 6.53 | 1.04 | 0.00 | -0.48 |

Elaborado con Microsoft Excel

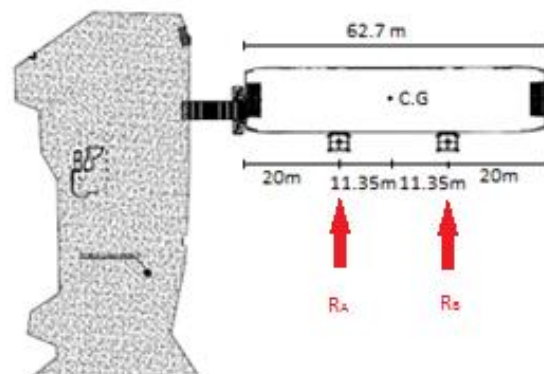
| CUADRO 25. ACCIONES TOTALES ACTUANTES SOBRE EL FERRY | | | | | | |
|--|-------------------------|----------------------|----------|----------|-----------|---------|
| | | Dirección del efecto | | | | |
| Agente | Acción | W | NW | N | NE | E |
| Viento | F _{TV} (ton) | 0.0000 | -12.7940 | -21.1969 | -20.4334 | 0.0000 |
| | F _{LV} (ton) | 2.7439 | 3.3482 | 0.0000 | -5.3475 | -5.2317 |
| | M _{TV} (ton-m) | 0.0000 | 84.2296 | 53.1618 | -134.5231 | 0.0000 |
| Corrientes Astronómicas | F _{TCP} (ton) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| | F _{LCP} (ton) | 0.1837 | 0.1837 | 0.1837 | -0.1837 | -0.1837 |
| Oleaje | F _{TW} (ton) | 0.0000 | -1.8447 | -2.8463 | -1.0907 | 0.0000 |
| | F _{LW} (ton) | 0.4588 | 1.8447 | 0.0000 | -1.0907 | 0.0000 |
| Efectos Totales | F _T (ton) | 0.0000 | -14.6387 | -24.0431 | -21.5241 | 0.0000 |
| | F _L (ton) | 3.3865 | 5.3767 | 0.1837 | -6.6219 | -5.4154 |
| | M _T (ton-m) | 0.0000 | 84.2296 | 53.1618 | -134.5231 | 0.0000 |

Elaborado con Microsoft Excel

Retomando la convención de signos de la Figura 47, tendríamos que las cargas transversales totales (F_T) son de signo negativo; esto implica que la embarcación es empujada contra los duques de alba propuestos. La reacción de diseño de las defensas no puede ser superada por las cargas de empuje del ferry sobre ellas, ya que las deformaciones serían excesivas (se estaría superando la deflexión de diseño del 70% de las mismas), lo cual puede ocasionar su deterioro y una amplificación en la magnitud de la carga transmitida a los duques.

A diferencia de la carga transmitida a los duques por el atraque de la embarcación, donde se considera que un solo duque es el que recibe toda la carga del impacto, se considera que las cargas transversales y momentos de giro transmitidas por el viento, el oleaje y las corrientes a la embarcación son soportadas solidariamente por las defensas de los dos duques.

Con base en las acciones totales del Cuadro 25 y la Figura 58 se calculan las reacciones sobre las defensas de los duques por estática simple, y se obtienen los resultados del Cuadro 26.



AUTOCAD 2007

Figura 58. Diagrama de cuerpo libre para el cálculo de las reacciones sobre las defensas de los duques.

Se nota que ninguna de las reacciones en cada uno de los duques es mayor que la reacción de diseño de las defensas (23 ton), por lo que las defensas propuestas son adecuadas para soportar las cargas del ferry cuando este se encuentre atracado.

En el caso de las acciones longitudinales del Cuadro 26, se considerará que todas ellas son resistidas por las fuerzas de las amarras y por el marco de izaje. Las acciones totales con incidencia del Noreste y el Este tienen signo negativo, esto implica que el ferry es empujado contra el marco de izaje, por lo que será este el encargado de tomar dichas cargas. Las acciones longitudinales incidentes del Oeste y el Noroeste

son de signo positivo, esto implica que el ferry es empujado fuera de las facilidades de atraque, por lo que las cargas deberán ser resistidas por acción de las amarras. En el caso de las acciones resistidas por el marco de izaje no se profundizará el diseño, ya que se supone que este fue diseñado para tales efectos. Por otro lado, se redefinirá un nuevo sistema de amarras que resulte efectivo y eficiente para soportar las cargas propuestas con la menor afectación de los

duques de alba. En todo caso, se considerará los efectos cortantes producidos por la fricción de la embarcación con las defensas, al sufrir estos movimientos de balanceo y cabeceo.

| CUADRO 26. REACCIONES SOBRE LAS DEFENSAS DE LOS DUQUES | | | | | | |
|---|---------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | Acción | W | NW | N | NE | E |
| Efectos Totales | FT (ton) | 0.00 | -14.64 | -24.04 | -21.52 | 0.00 |
| | FL (ton) | 3.39 | 5.38 | 0.18 | -6.62 | -5.42 |
| | MT (ton-m) | 0.00 | 84.23 | 53.16 | -134.52 | 0.00 |
| Reacciones | RA (ton) | 0.00 | 3.61 | 9.68 | 16.69 | 0.00 |
| | RB (ton) | 0.00 | 11.03 | 14.36 | 4.84 | 0.00 |

Elaborado con Microsoft Excel

Determinación de las cargas de empuje (CE)

La carga de empuje de diseño (CE) corresponde a las reacciones resultantes de los agentes externos sobre el ferry, presentados en el Cuadro 26. Se aprecia que debido al momento de giro las reacciones no son iguales en cada duque para cada caso evaluado. La máxima reacción sobre el duque A es de 16.69 ton y sobre el B de 14.36 ton, el porcentaje de diferencia entre ambas es del 14%. Se decide así que se actuará conservadoramente y que los dos duques se diseñarán para la mayor reacción calculada. Así,

$$CE_1 = 16.69 \text{ ton}$$

Determinación de las cargas de rozamiento (CR₂)

La carga de rozamiento máxima existente al barco sufrir movimientos horizontales y verticales mientras se encuentre atracado es calculada con la siguiente fórmula:

$$CR_2 = \mu CE$$

Siendo,

CA: carga de empuje de la embarcación
 μ : coeficiente de rozamiento entre la superficie del sistema de defensa y el casco del buque en el área de contacto.

Se seguirá la misma analogía que anteriormente se utilizó en el cálculo de CR₁. Por tanto, el valor del coeficiente de rozamiento será de 0.35. Entonces,

$$CR_2 = 0.35 (16.69 \text{ ton})$$

$$CR_2 = 5.84 \text{ ton}$$

Se recuerda que esta carga de rozamiento es producida por los movimientos de cabeceo y balanceo de la embarcación, por lo que debe considerarse en sentido horizontal y vertical en todos los casos previsibles.

Determinación de las acciones de las amarras (CC₁)

Como se mencionó anteriormente, las cargas longitudinales de signo positivo del Cuadro 25 son las que deberán ser resistidas por las amarras, ya que son estas las que tienden a alejar el ferry de los duques de alba y del marco de izaje. Se analizará la condición más crítica, que según el Cuadro 25 es cuando las acciones inciden del Noroeste, ocasionando la magnitud máxima de la componente longitudinal total (F_L) sobre el ferry, con un valor de 5.38 ton.

A continuación se ilustra las gateras (puntos de salida de las amarras del ferry) que se utilizarán en el diseño del sistema de amarras.



Figura 59. Ubicación de las gateras del San Lucas II por utilizar en el diseño de las amarras (Fuente: del Autor)

El cálculo de las acciones de las amarras se hará con base en las recomendaciones de la ROM 0.2-90. A continuación se mencionan indicaciones generales a tomar en cuenta:

- Se debe tender a buscar el menor número posible de líneas de amarre. Con ello se conseguirá simplificar la maniobra de amarre y tensionado.
- Las líneas de amarre se distribuirán simétricamente. El objetivo es repartir de forma homogénea las cargas entre todas las amarras y defensas. Para efectos de cálculo se considerará que las amarras se mantienen tensas en todo momento.
- Las líneas de amarre se tenderán buscando la máxima horizontalidad posible para aumentar su eficacia. El ángulo máximo con la horizontal debe ser de 30° tomando en cuenta los cambios de nivel de las mareas.
- Las amarras deberán disponerse lo más alineadas posibles con el desplazamiento que se busca restringir.

Para efectos de cálculo, se utilizará el Método 2 propuesto por la ROM 0.2-90 (1992) al ser el que mejor se adapta a las condiciones de este proyecto en particular.

Se supondrá que todas las amarras trabajan a igual tensión, considerando que todas ellas tienen idénticas características materiales y de sección transversal. Las resultantes de las fuerzas exteriores sobre el ferry serán resistidas por las componentes horizontales de las fuerzas de las amarras según la siguiente formulación:

$$F_L = \sum_i P \cos \varphi_i \cos \theta_i$$

Donde,

F_L : componente longitudinal de las acciones externas sobre el ferry

P: carga en cada amarra, supuesta constante e idéntica en cada una de ellas.

φ_i : ángulo que forma la amarra i con la horizontal

θ_i : ángulo que forma la proyección horizontal de la amarra i con el eje longitudinal del ferry

Dado que P se supone idéntica en todas las amarras,

$$P = \frac{F_L}{\sum_i \cos \varphi_i \cos \theta_i}$$



Figura 60. Vista en perfil de las amarras (Fuente: del Autor)

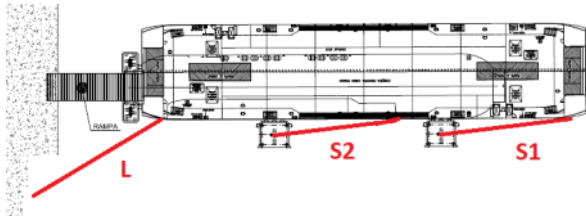
Donde,

S1: Spring de proa #1

S2: Spring de proa #2

L: largo de popa

En la figura anterior los cajones de color negro representan la ubicación de los duques de alba a diseñar, ubicado cada uno a un 1/3 y 2/3, respectivamente, de la eslora del ferry.



AUTOCAD 2007
Figura 61. Vista en planta de las amarras

Con base en las Figuras 60 y 61 se procedió a determinar los ángulos θ_i , los cuales permanecen invariables sin importar el nivel de la marea. Los ángulos ϕ_i si varían dependiendo del nivel de la marea, por lo que se dejarán como una variable y se evaluará su efecto gráficamente.

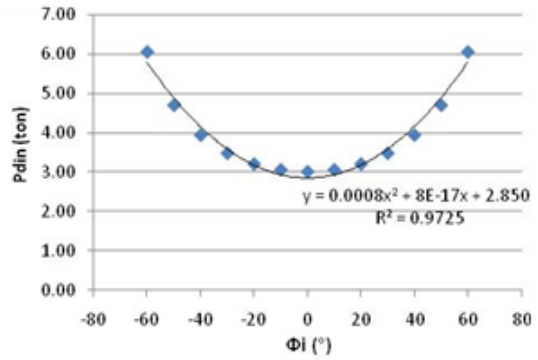
- S1 $\rightarrow \theta_1 = 11.2^\circ$
- S2 $\rightarrow \theta_2 = 11.2^\circ$
- L $\rightarrow \theta_3 = 45^\circ$

La ROM 0.2-90 (1992) establece que para considerar los efectos dinámicos de las amarras las cargas calculadas teóricamente deben ser incrementadas por un factor de 1.5. Además, el ángulo ϕ_i debe limitarse a $\pm 30^\circ$ respecto a la horizontal, por lo que las dos propuestas de duques de alba deben diseñarse para que la altura a la que se coloque bita de amarre en su estructura limite este ángulo a dicho valor.

Con base en las consideraciones anteriores se calculó el valor de la carga por amarra P. Se es conservador y se analiza como si las tres amarras S1, S2 y L tuvieran el mismo ángulo ϕ_i , dando la menor eficiencia en caso de no ser totalmente horizontales.

| ϕ (°) | P (ton) | Factor Dinámico | Pdin (ton) |
|------------|---------|-----------------|------------|
| -30 | 2.33 | 1.5 | 3.49 |
| -20 | 2.14 | 1.5 | 3.22 |
| -10 | 2.05 | 1.5 | 3.07 |
| 0 | 2.01 | 1.5 | 3.02 |
| 10 | 2.05 | 1.5 | 3.07 |
| 20 | 2.14 | 1.5 | 3.22 |
| 30 | 2.33 | 1.5 | 3.49 |

Elaborado con Microsoft Excel



MICROSOFT EXCEL
Figura 62. Carga dinámica por amarra vrs ángulo de inclinación respecto a la horizontal

Se determina a partir del Cuadro 27 que la máxima carga de amarra que deberá soportar cada duque es de 3.49 ton.

$CC_1 = 3.49 \text{ ton}$

La carga de amarre debe ser evaluada en dos casos distintos, cuando el ángulo Φ sea de 30° y -30° . Para efectos del modelado de la estructura en el software de análisis estructural conviene descomponer la carga anterior, la cual tendrá componentes tridimensionales. Considérense los ejes X y Y según se definieron y un eje Z vertical.

| Caso | θ (°) | Φ (°) | CC-X (ton) | CC_Y (ton) | CC-Z (ton) |
|------|--------------|------------|------------|------------|------------|
| a | 11.2 | 30 | 2.96 | 0.59 | 1.71 |
| b | | -30 | 2.96 | 0.59 | -1.71 |

Elaborado con Microsoft Excel

Selección del instrumento de amarre

Los duques de alba por proponer en este proyecto funcionan como duques de atraque y como duques de amarre. Por ello, los mismos deben estar equipados con instrumentos que permitan el amarre de las líneas, tales como bitas, bolardos o cornamusas. Una bita es una pieza cilíndrica sólida, afirmada sobre la estructura de atraque, que se utiliza para el amarre de cabos, cables o cadenas. Un bolardo es similar a una bita, con la diferencia que la

terminación superior del bolardo está inclinada en sentido contrario al de tracción habitual de la amarra para evitar que se zafe. Una cornamusa es una pieza encorvada en sus extremos para permitir el amarre adecuado de los cabos. Las estructuras de atraque modernas utilizan cornamusas debido a su mayor eficiencia en el amarre.

Se sabe que la máxima carga de amarre que deben resistir los duques es de 3.49 ton. El Manual de Diseño de Maritime International Inc. (2000) establece que para seleccionar el instrumento de amarre apropiado, esta carga debe ser amplificada por un factor de seguridad de 3. Esto implica que la carga que debe resistir el bolardo es de 10.47 ton.

Considerando el Manual de Diseño de Maritime International Inc (2000), se establece que es necesario contar con una cornamusa C-18-1, la cual tiene una resistencia de 18 ton. Esta cornamusa tiene las características geométricas mostradas a continuación:

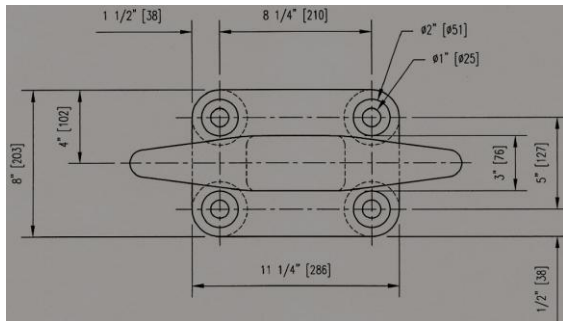


Figura 63. Vista en planta de la cornamusa C-18-1 (Fuente: Maritime International Inc)

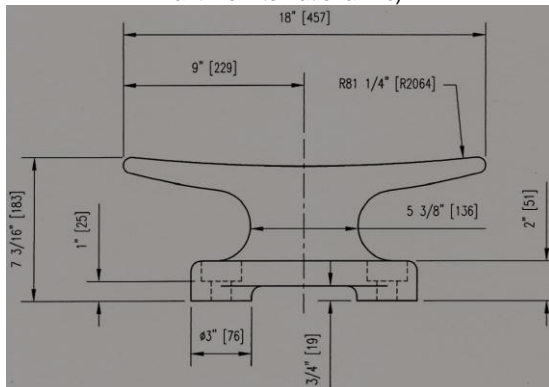


Figura 64. Vista en perfil de cornamusa C-18-1 (Fuente: Maritime International Inc)

Como se mencionó anteriormente, la cornamusa se ubicará en la parte superior de los duques de alba, con la consideración de que el ángulo

formado entre la línea de amarre y la horizontal no supere los 30°.

Cálculo de acciones de combinaciones accidentales

Debido a la remota probabilidad de que el sismo ocurra en el mismo instante en que la embarcación atraca o al mismo tiempo en que se dan las acciones medio ambientales de carácter extremal de diseño, se decide evaluar las combinaciones accidentales de sismo al momento en que la embarcación está atracada pero bajo condiciones medio ambientales de régimen medio, es decir, bajo condiciones normales de operación.

Debido a la falta de información respecto a régimen medio de oleaje en el emplazamiento, se decide ser conservador y utilizar las acciones de período de retorno de 1 año como acciones medias. Debido a las limitaciones anteriormente comentadas sobre los datos de corrientes, se decide mantener los mismos valores que se utilizaron anteriormente en el cálculo de acciones extremales; no se es exageradamente conservador pues las cargas producidas por dichas corrientes son despreciables, tal y como se aprecia en el Cuadro 26.

Considérense los siguientes cuadros:

| CUADRO 29. VELOCIDADES ABSOLUTAS DEL VIENTO $P_R = 1$ año (CCM, 2011) | | | | | |
|---|-----------|------|------|-------|-------|
| | Dirección | | | | |
| | W | NW | N | NE | E |
| U (m/s) | 7.87 | 2.67 | 8.54 | 15.53 | 10.11 |

| CUADRO 30. VELOCIDADES ABSOLUTAS DEL OLEAJE ($P_R = 1$ año) | | |
|--|--------|--------|
| Dirección | Hs (m) | Tp (s) |
| W | 0.2 | 1.8 |
| NW | 0.1 | 1.1 |
| N | 0.3 | 2 |
| NE | 1 | 3.5 |
| E | 0.4 | 2.4 |

Siguiendo la misma metodología utilizada y descrita en secciones anteriores para el cálculo de las acciones debidas al viento, oleaje y corrientes, se procedió al cálculo de las acciones

resultantes sobre el ferry y sobre los duques de alba. Los resultados se resumen en el Cuadro 31.

| CUADRO 31. ACCIONES TOTALES ACTUANTES SOBRE EL FERRY Y DUQUES DE ALBA PARA SITUACIONES DE RÉGIMEN MEDIO | | | | | | |
|--|--------------------|-----------------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | Dirección del efecto | | | | |
| Agente | Acción | W | NW | N | NE | E |
| Viento | FTV (ton) | 0.0000 | -0.1661 | -2.7851 | -5.6209 | 0.0000 |
| | FLV (ton) | 0.6190 | 0.0435 | 0.0000 | -1.4710 | -1.0215 |
| | MTV (ton-m) | 0.0000 | 1.0938 | 6.9850 | -37.0052 | 0.0000 |
| Corrientes Astronómicas | FTCP (ton) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| | FLCP (ton) | 0.1837 | 0.1837 | 0.1837 | -0.1837 | -0.1837 |
| Oleaje | FTW (ton) | 0.0000 | -0.0261 | -0.3881 | -1.8471 | 0.0000 |
| | FLW (ton) | 0.0363 | 0.0261 | 0.0000 | -1.8471 | 0.0000 |
| Efectos Totales | FT (ton) | 0.0000 | -0.1922 | -3.1732 | -7.4680 | 0.0000 |
| | FL (ton) | 0.8390 | 0.2533 | 0.1837 | -3.5019 | -1.2052 |
| | MT (ton-m) | 0.0000 | 1.0938 | 6.9850 | -37.0052 | 0.0000 |
| Reacciones | RA | 0.0000 | 0.0479 | 1.2789 | 5.3642 | 0.0000 |
| | RB | 0.0000 | 0.1443 | 1.8943 | 2.1038 | 0.0000 |

Elaborado con Microsoft Excel

Se determina así que la carga de empuje bajo condiciones normales de operación (CE_2) para efectos de evaluar las combinaciones accidentales de sismo es la siguiente:

$$CE_2 = 5.36 \text{ ton}$$

La carga de rozamiento durante condiciones de operación normales sería entonces,

$$CR_3 = \mu \times CE_2 = 0.35 \times 5.36 \text{ ton}$$

$$CR_3 = 1.88 \text{ ton}$$

Utilizando la misma metodología y supuestos empleados anteriormente, se procedió al cálculo del tiro de las amarras. Se determinó que la mayor carga de amarra a resistir por cada duque es de 0.54 ton. Esta carga en componentes sería:

$$CC_2 = 0.54 \text{ ton}$$

CUADRO 32. CARGA DE AMARRE (CC_2) EN COMPONENTES

| Caso | θ (°) | Φ (°) | CC-X (ton) | CC_Y (ton) | CC-Z (ton) |
|-------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| a | 11.2 | 30 | 0.46 | 0.09 | 0.27 |
| b | | -30 | 0.46 | 0.09 | -0.27 |

Elaborado con Microsoft Excel

Determinación de las acciones ambientales sobre la estructura

Hasta el momento se han calculado las acciones ambientales (corrientes, vientos y oleaje) actuantes sobre la estructura por acción indirecta del ferry atracado. En el caso de las acciones actuantes directamente sobre la estructura es reconocido por la literatura que los efectos producidos son despreciables respecto a aquellos

inducidos a través del ferry, por lo que no representan acciones dominantes de diseño y serán despreciadas.

Nótese el hecho de que las acciones medioambientales sobre el ferry son incompatibles con las transmitidas directamente a la estructura por acción de dichos agentes. Esto significa que cuando el ferry está atracado la estructura soporta únicamente las acciones transmitidas a través del ferry, puesto que la embarcación representa una barrera para la acción de los agentes ambientales directamente sobre la estructura. De ahí que el despreciar la acción directa de estos agentes no es una omisión de cargas actuantes, ya que sus efectos conjuntos no pueden ser sumados.

Para demostrar los puntos anteriores se hará referencia a un estudio llevado a cabo por el Ing. Henry Alfaro, especialista en costas, sobre un proyecto de ampliación de las estructuras de atraque y amarre en Playa Piñuela. En dicho estudio Alfaro simuló mediante el software MSP la actuación del oleaje sobre un muelle compuesto por marcos estructurales dispuestos cada 3m y con pilotes (columnas) de 30 cm de diámetro. MSP es un software diseñado para el análisis de la agitación portuaria, producido por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria, España.

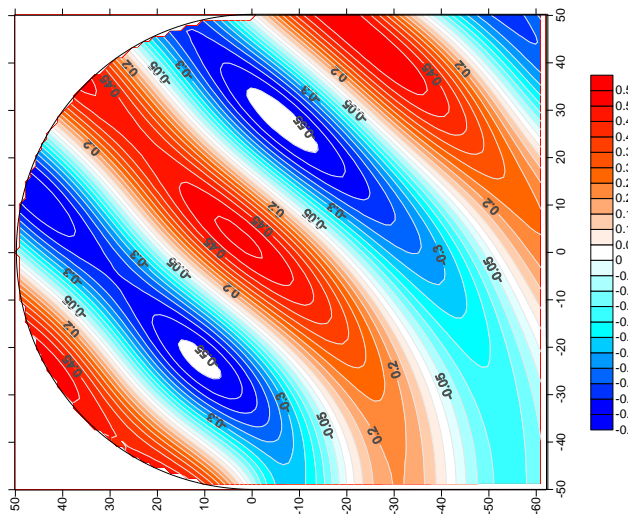


Figura 65. Condición de oleaje sin marcos estructurales (Alfaro, H. 2009)

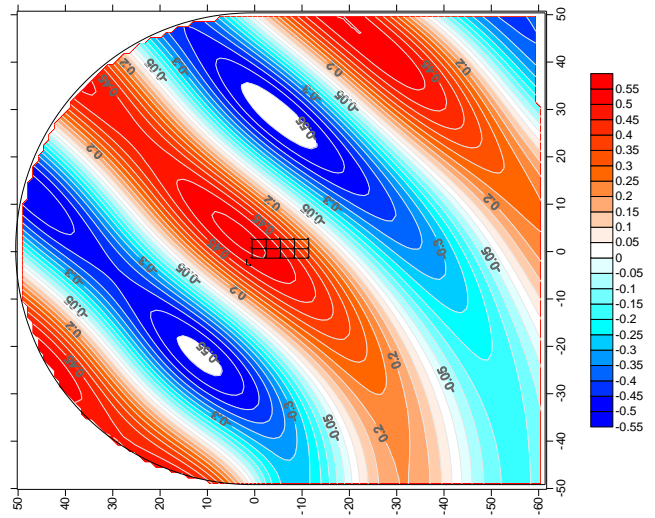


Figura 66. Condición de oleaje con marcos estructurales (Alfaro, H. 2009)

Se aprecia que tanto la Figura 65 como la 66 son exactamente iguales para el caso en que los marcos estructurales se encuentran o no en el emplazamiento. Esto permite concluir que este tipo de estructuras sobre pilotes son transparentes, es decir, permeables a la acción del oleaje. Si en los gráficos se hubiese observado un cambio en la condición del oleaje es porque la estructura representa un obstáculo importante y sus efectos considerables, por ejemplo, este sería el caso de una pantalla de tablaestacas o de un rompeolas.

Datos importantes de ambas propuestas

Debe considerarse que la estructura estará sometida a la intemperie y un ambiente corrosivo extremo, por lo que deben tomarse medidas de prevención para evitar daños que puedan ocasionar fallas estructurales y funcionales en la estructura.

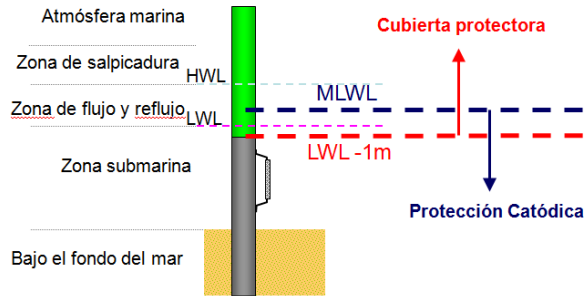


Figura 67. Sistema de protección contra la corrosión según el criterio técnico japonés (PARI, 2009)

De acuerdo con los japoneses, la protección de la estructura por debajo del nivel de marea baja -1m debe realizarse por medio de protecciones catódicas, utilizando ánodos de sacrificio. Por otro lado, para el nivel de marea baja -1m puede considerarse el utilizar una cubierta protectora, que puede ser desde pinturas, cubiertas orgánicas e inorgánicas hasta cubiertas de petrolatum.

La protección catódica consiste en colocar un ánodo de sacrificio de un metal menos noble que el del pilote de manera que esta atraiga la corrosión hacia sí mismo (Figura 68), protegiendo la integridad de la estructura bajo su zona de influencia. Se recomienda, por su efectividad ya comprobada en proyectos marítimos, el utilizar ánodos galvánicos con aleación de aluminio. El diseño de este sistema de protección está fuera del alcance de este proyecto, por lo que solo se darán recomendaciones al respecto.

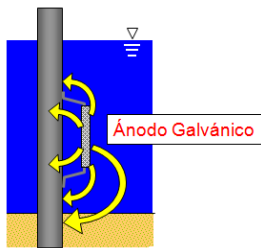


Figura 68. Protección catódica (PARI, 2009)



Figura 69. Ánodo galvánico con aleación de aluminio (PARI, 2009)

Además de las protecciones antes mencionadas, es común en infraestructura portuaria el diseñar los elementos tomando en cuenta un grado de corrosión admisible durante la vida útil de la estructura, considerando que las protecciones no son siempre efectivas en un 100%. Por esta razón, debe considerarse un sobre espesor en la sección transversal de los perfiles con el fin de garantizar la resistencia estructural durante toda la vida útil del proyecto. Se ilustra en la siguiente figura los diferentes grados de corrosión de estructuras de acero según su zona de ubicación:

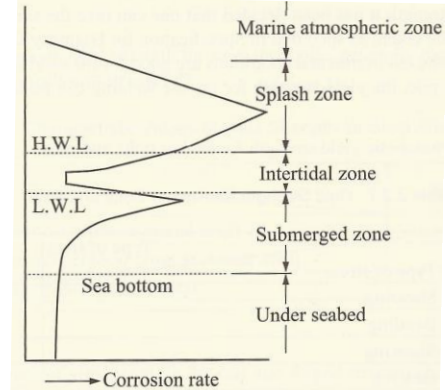


Figura 70. Variación de la de la tasa de corrosión con la profundidad (PARI, 2009)

- Donde,
- HWL: nivel de marea alta (high water level).
- LWL: nivel de marea baja (low water level).
- Sea bottom: fondo marino.
- Marine atmospheric zone: zona atmosférica marina.
- Splash zone: zona de splash.
- Intertidal zone: zona entre niveles de marea.
- Submerged zone: zona sumergida.
- Under seabed: bajo el fondo marino.

Se muestra en la Figura 70 la zona de Splash (zona justo por encima del nivel de marea alta) es la que más corrosión sufre. Por otro lado, conforme se desciende en profundidad la tasa de corrosión disminuye. Según las normas japonesas, los rangos de corrosión por zona son los siguientes:

| CUADRO 33. TASAS DE CORROSIÓN POR ZONAS (PARI, 2009) | |
|---|-----------|
| (mm/año) | |
| HWL or mayor | 0.3 |
| HWL → LWL -1m | 0.1 - 0.3 |
| LWL -1m → fondo marino | 0.1 - 0.2 |
| Bajo el fondo marino | 0.03 |

Elaborado con Microsoft Word

De acuerdo con las tasas de corrosión anteriores, el sobre espesor de diseño por considerar por zonas es el siguiente:

- Zona por encima del nivel de marea baja -1m:

$$SE = 0.3 \text{ mm/año} \times 25 \text{ años} = 7.5 \text{ mm}$$

- Zona entre el nivel de marea baja -1m hasta el lecho marino:

$$SE = 0.2 \text{ mm/año} \times 25 \text{ años} = 5 \text{ mm}$$

De acuerdo con una consulta realizada al Ing. Gilberto Rodríguez P. (División Marítimo Portuaria - MOPT), la corrosión observada en campo en nuestro país es de magnitudes semejantes a las del criterio japonés, por lo que sus valores son representativos para nuestro medio.

Propuesta No.1

Hasta el momento se han calculado las cargas de diseño que son independientes de la tipología estructural de duque de alba que se esté realizando. A continuación se calcularán las cargas permanentes y sísmicas, las cuales si son dependientes de la estructura específica que se considere.

Determinación de las cargas de atraque

Las siguientes figuras muestran la colocación típica de la defensa SPC sobre la estructura de atraque. Se nota la presencia de cadenas sosteniendo el panel de la defensa. En el caso

del proyecto en estudio la configuración de dichas cadenas será diferente debido a que el panel requerido es de dimensiones mayores. En general se tienen 3 tipos de cadenas: cadenas de tensión, cadenas de cortante y cadenas de peso.



Figura 71. Defensa Tipo SPC (Shibata, 2002)

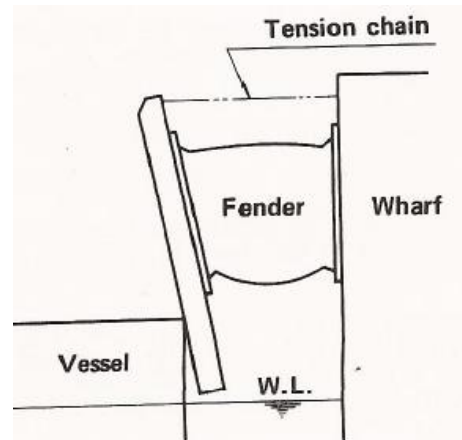


Figura 72. Cadenas de tensión de la defensa (Bridgestone, 1998)

Donde,
 Vessel: embarcación
 Fender: defensa
 Wharf: atracadero
 Tension chain: cadena de tensión

El objetivo de las cadenas de tensión (Figura 72) es el permitir una compresión uniforme del cilindro de la defensa aún cuando la embarcación haga contacto con una excentricidad importante sobre el panel respecto al cilindro. Esto significa que al momento del

ataque debe considerarse adicionalmente a la reacción de la defensa sobre la estructura (CA = 23.36 ton) el tiro de las cadenas de tensión.

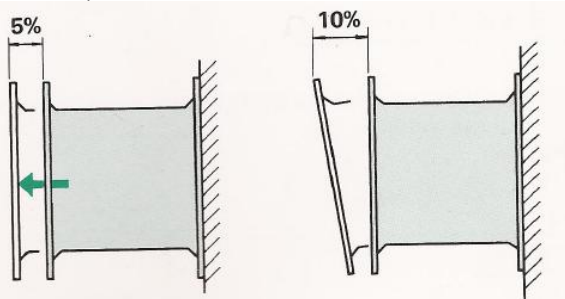


Figura 73. Deflexiones máximas de tensión sobre el cilindro de la defensa (Bridgestone, 1998)

Para el cálculo del tiro de las cadenas de tensión debe considerarse que la deflexión máxima de tensión en el centro del cilindro es del 5% y en la periferia del mismo del 10% (según el fabricante), esto con el fin de no dañar el hule del cilindro.

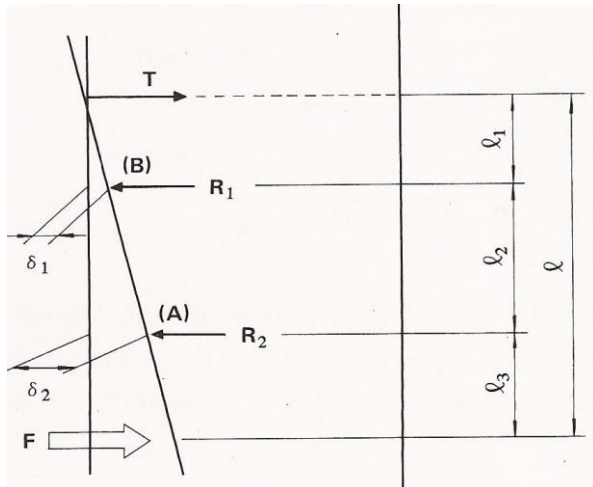


Figura 74. Esquema de cálculo del tiro de las cadenas de tensión (Bridgestone, 1998)

Donde,

T: carga de tensión de las cadenas

δ_1 : deflexión máxima en el centro del cilindro

δ_2 : deflexión máxima en la periferia del cilindro

R1: reacción de la defensa a una deflexión δ_1

R2: reacción de la defensa a una deflexión δ_2

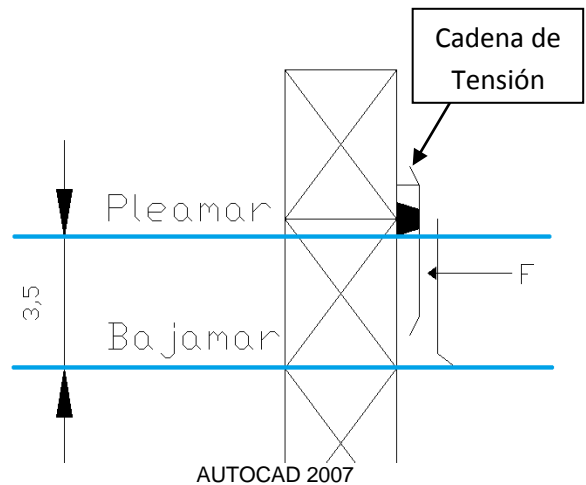


Figura 75. Esquema de colocación de la defensa en la estructura (Fuente: del Autor)

De acuerdo con las dimensiones del panel propuesto y la Figura 84 se considera las siguientes dimensiones:

l1: 0.90m

l2: 0.255m (radio menor del cilindro de la defensa HC 600H J1)

l3: 1.43m

l: 2.59m

De acuerdo con la curva de desempeño de Bridgestone (1998) para la defensa HC 600H J1 se obtienen los siguientes valores:

Para $\delta_1 = 5\% \rightarrow R1 = 7 \text{ ton}$

Para $\delta_2 = 10\% \rightarrow R2 = 11.5 \text{ ton}$

Se procede al cálculo del tiro de las cadenas:

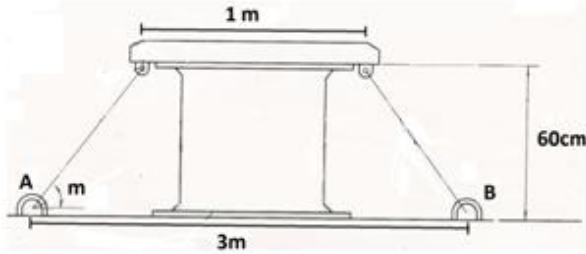
$$T' = \frac{R1(l1 + l2) + R2(l3)}{l}$$

Despejando la ecuación anterior con los valores dados se obtiene,

$$T' = 9.30 \text{ ton}$$

Pero son dos cadenas, por lo que la carga para cada una de ellas será de

$$T = 4.65 \text{ ton}$$



MICROSOFT PAINT
Figura 76. Vista en planta de la defensa en la estructura
 (Fuente: del Autor)

Como se aprecia en la figura anterior, las cadenas de tensión forman un ángulo m con la horizontal de 30.96° , por lo que las acciones de las cadenas sobre los puntos de anclaje A y B sobre las columnas pueden descomponerse de la siguiente manera:

| CUADRO 34. CARGAS DE CADENA DE TENSION EN COMPONENTES | | |
|--|----------|----------|
| Punto | Tx (ton) | Ty (ton) |
| A | 3.98 | 3.98 |
| B | 2.39 | -2.39 |

Elaborado con Microsoft Excel

Como puede apreciarse en la fórmula de cálculo del tiro de las cadenas de tensión, el valor de las mismas depende de las deflexiones máximas de tensión admisibles y del punto de aplicación de la carga sobre el panel. Por ello, las cargas del Cuadro 34 deben considerarse durante el atraque de la embarcación y durante el tiempo que esta permanezca atracada, es decir, se consideran estas mismas cargas de tiro de tensión junto a los efectos de empuje de la embarcación atracada.

Cargas de rozamiento

Anteriormente se calcularon las cargas de rozamiento del barco sobre el panel durante la operación de atraque y durante la permanencia de la embarcación atracada, dichos valores fueron los siguientes:

Operación de atraque $\rightarrow CR_1 = 8.18$ ton
 Embarcación atracada (evento extremo) $\rightarrow CR_2 = 5.84$ ton
 Embarcación atracada (condiciones normales de servicio) $\rightarrow CR_3 = 1.88$ ton

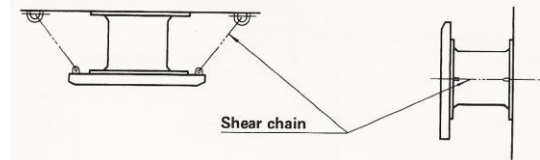
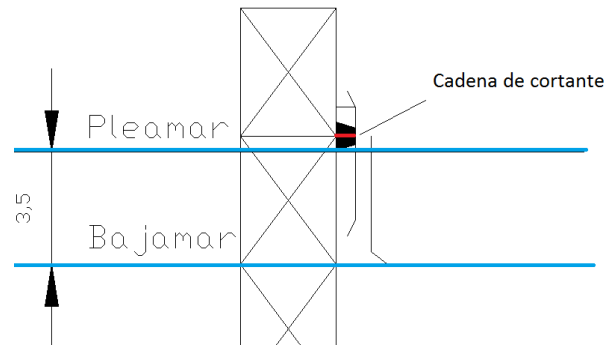


Figura 77. Colocación de las cadenas de cortante sobre la estructura (Bridgestone, 1998)

Donde,
 Shear chain: cadena de cortante



AUTOCAD 2007
Figura 78. Vista en perfil de cadena de cortante en la estructura (Fuente: del Autor)

Para efectos del análisis estructural se considerará que las cadenas de cortante que sujetan el panel de la defensa toman el 100% de las cargas de rozamiento sobre el mismo.

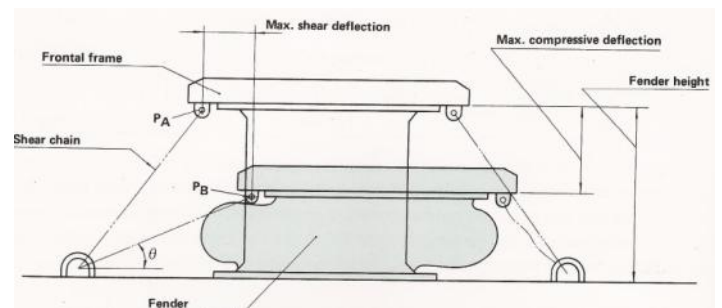


Figura 79. Esquema de cálculo del tiro de las cadenas de cortante (Bridgestone, 1998)

Donde,
 Shear chain: cadena de cortante
 Frontal frame: panel frontal de la defensa
 Max. Shear deflection: máxima deflexión por cortante
 Max. Compressive deflection: máxima deflexión por compresión
 Fender height: altura de la defensa

La tensión K de las cargas sobre las cadenas de cortante es estimada con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{\mu R - S}{\cos\theta + \mu \operatorname{sen}\theta}$$

Considérese,

μ : coeficiente de rozamiento

R: fuerza normal al panel

S: resistencia al cortante de la defensa

θ : ángulo respecto a la deflexión máxima de la defensa

Ajustando la ecuación anterior, se tienen los siguientes tres casos:

1) Operación de atraque:

$$K1 = \frac{CR1 - S}{\cos\theta + \mu \operatorname{sen}\theta}$$

2) Operaciones de carga y descarga:

$$K2 = \frac{CR2 - S}{\cos\theta + \mu \operatorname{sen}\theta}$$

3) Embarcación atracada en condiciones normales de servicio:

$$K3 = \frac{CR3 - S}{\cos\theta + \mu \operatorname{sen}\theta}$$

Para efectos de cálculo se desprecia la resistencia al cortante de la defensa ($S = 0$ ton) y se considera que las cadenas de cortante deben tomar el 100% de las cargas de rozamiento.

Con base en la deflexión máxima de la defensa (70%) y las dimensiones de la misma se tiene que $\theta = 10.2^\circ$. Se recuerda que $\mu = 0.35$.

Despejando las ecuaciones se tiene entonces que:

$K1 = 7.81$ ton

$K2 = 5.58$ ton

$K3 = 1.79$ ton

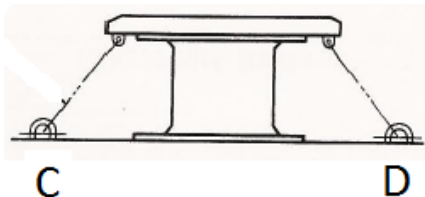


Figura 80. Puntos de anclaje de las cadenas de cortante
(Fuente: del Autor)

A diferencia de las cadenas de tensión donde las dos trabajan simultáneamente, las cadenas de cortante no trabajan juntas, todo depende del movimiento de la embarcación respecto al panel de la defensa.

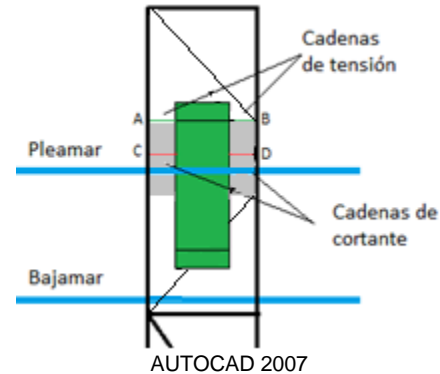


Figura 81. Esquema final de colocación de cadenas de tensión y cortante en la estructura (Fuente: del Autor)

Determinación de la superficie virtual del terreno

El lecho marino está en constante evolución producto de la acción de los agentes medioambientales que continuamente arrastran y depositan sedimentos. Por ello, la norma japonesa de estándares técnicos para facilidades portuarias recomienda eliminar una capa de terreno superficial, considerando que es esta es la que está expuesta a la hidrodinámica marina, y que por ende, no ofrece resistencia para efectos del diseño de las cimentaciones.

Dichas normas establecen un procedimiento gráfico para determinar la profundidad de terreno por eliminar y establecer así la superficie virtual de diseño del terreno. El método consiste en ubicarse en el pie inferior de la estructura por diseñar sobre la pendiente, establecer en dicho punto una horizontal y para cada pilote ir restando la mitad de la profundidad desde la superficie hasta la horizontal.

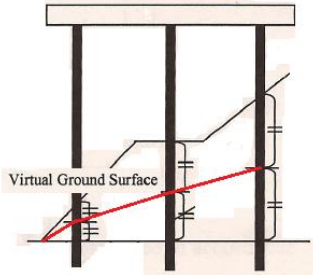
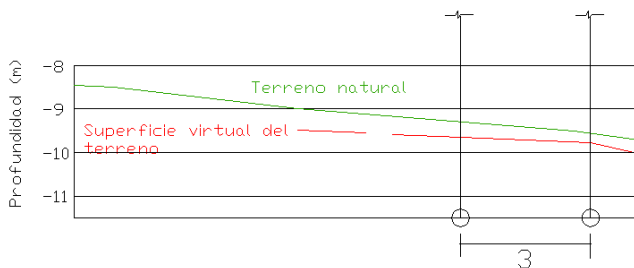


Figura 82. Cálculo de la superficie virtual (PARI, 2009)

Según se aprecia en los planos de batimetría de Playa Naranjo (Anexo 6), la ubicación donde estarán los duques de alba tiene una pendiente promedio del 6%.

Se muestra en la Figura 83 un corte longitudinal de la plataforma continental, donde se aprecia la variación de la pendiente del terreno. El color verde representa la superficie original del terreno según la batimetría del Anexo 6. El color rojo representa la ubicación de la superficie virtual del terreno. Se aprecia que la capa de terreno que se debe despreciar es de aproximadamente 30cm desde la superficie.

Analizando el valor obtenido mediante la metodología empírica anteriormente mencionada, se determina que es un valor aceptable considerando la profundidad del emplazamiento y la lejanía de la línea de costa. En este punto el oleaje no es significativo, por lo que no hay tanta energía para producir erosión o arrastre de sedimentos.



AUTOCAD 2007

Figura 83. Corte longitudinal de Playa Naranjo (cotas en metros) (Fuente: del Autor)

Para determinar el punto virtual de empotramiento de los pilotes se seguirá también la metodología recomendada por los japoneses. Según ellos, el punto de empotramiento se encuentra a una profundidad $1/\beta$ bajo la superficie virtual del terreno y depende de sus características (tomado en cuenta mediante el coeficiente de balasto) y las características

propias del pilote como su módulo de elasticidad, inercia y diámetro. La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_{CH}D}{4EI}}$$

Donde,

K_{CH} : coeficiente de balasto a una profundidad de $1/\beta$

$$K_{CH} = 1.5 N \text{ (N/cm}^3\text{)}$$

N: valor promedio del valor de N de SPT a la profundidad promedio de $1/\beta$

D: diámetro externo del pilote

E: módulo de elasticidad del pilote

I: inercia del pilote

Considérese un pilote de acero de 12.75in (27.31cm) de diámetro externo. A 3m de profundidad, el valor promedio de N es de 15.6 según el Cuadro 9. Entonces,

$$K_{CH} = 1.5 (15.6) = 23.4 \text{ N/cm}^3 = 2.39 \text{ kg/cm}^3$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{2.39 (27.31)}{4 (2.1 \times 10^6) (15309.23)}} = 0.0047 \text{ cm}^{-1}$$

Así,

$$1/\beta = 205 \text{ cm}$$

Propuesta No.2

En términos generales, la propuesta No.2 consiste en un duque de alba compuesto por un cabezal de concreto para dar rigidez a la estructura, sostenido por medio de pilotes inclinados encargados de tomar las cargas laterales. A continuación se calcularán las cargas correspondientes a la estructura de la propuesta No.2.

Determinación de las cargas de ataque

Cargas de tensión

Al igual que en la propuesta anterior y siguiendo los mismos planteamientos, se determina que las

cargas de tensión de cada una de las cadenas es de 4.65 ton, pero en este caso las mismas son casi verticales respecto a la horizontal.

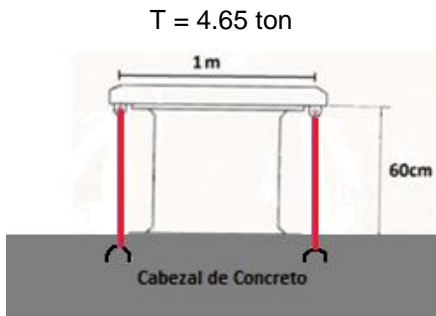


Figura 84. Vista en planta de la defensa en la estructura (Fuente: del Autor)

Cargas de rozamiento

Anteriormente se calcularon las cargas de rozamiento del barco sobre el panel durante la operación de atraque y durante la permanencia de la embarcación atracada, dichos valores fueron los siguientes:

Operación de atraque → CR₁ = 8.18 ton
 Embarcación atracada (evento extremo) → CR₂ = 5.84 ton
 Embarcación atracada (condiciones normales de servicio) → CR₃ = 1.88 ton

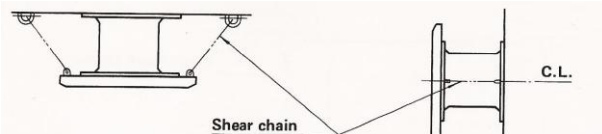


Figura 85. Colocación de las cadenas de cortante sobre la estructura (Bridgestone, 1998)

Donde,
 Shear chain: cadena de cortante

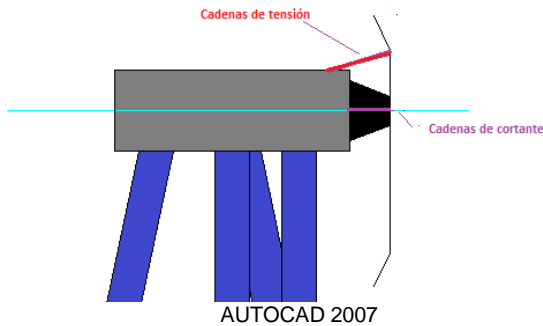


Figura 86. Vista en perfil de las cadenas de cortante y tensión en la estructura (Fuente: del Autor)

Se propone colocar las cadenas de cortante de la siguiente manera:

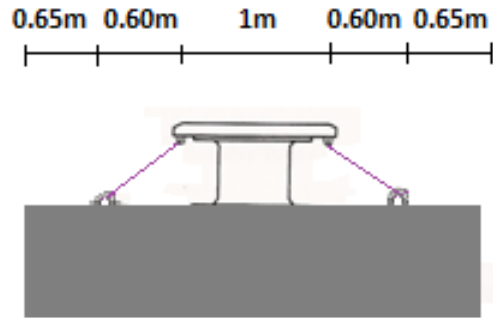


Figura 87. Vista en planta de la colocación de las cadenas de cortante (Fuente: del Autor)

La tensión K de las cargas sobre las cadenas de cortante es estimada con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{\mu R - S}{\cos\theta + \mu \operatorname{sen}\theta}$$

Donde,
 μ: coeficiente de rozamiento
 R: fuerza normal al panel
 S: resistencia al cortante de la defensa
 θ: ángulo respecto a la deflexión máxima de la defensa (ver Figura 79)

Ajustando la ecuación anterior, se tienen los siguientes tres casos:

1) Operación de atraque:

$$K1 = \frac{CR1 - S}{\cos\theta + \mu \operatorname{sen}\theta}$$

2) Operaciones de carga y descarga:

$$K2 = \frac{CR2 - S}{\cos\theta + \mu \operatorname{sen}\theta}$$

3) Embarcación atracada en condiciones normales de servicio:

$$K3 = \frac{CR3 - S}{\cos\theta + \mu \operatorname{sen}\theta}$$

Para efectos de cálculo se desprecia la resistencia al cortante de la defensa (S = 0 ton) y

se considera que las cadenas de cortante deben tomar el 100% de las cargas de rozamiento. Con base en la deflexión máxima de la defensa (70%) y las dimensiones de la misma se tiene que $\theta = 16.7^\circ$. Se recuerda que $\mu = 0.35$.

Despejando las ecuaciones se tiene entonces que:

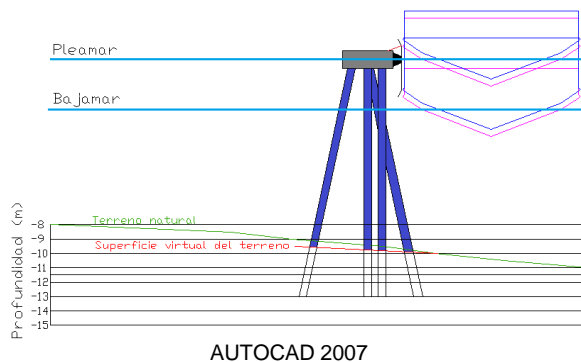
K1 = 9.54 ton
K2 = 6.81 ton
K3 = 2.19 ton

Determinación de la superficie virtual del terreno

La superficie virtual del terreno se determinó con el mismo procedimiento descrito en la propuesta anterior.

Se muestra en la Figura 88 un corte longitudinal de la plataforma continental, donde se aprecia la variación de la pendiente del terreno. El color verde representa la superficie original del terreno según la batimetría del Anexo 6. El color rojo representa la ubicación de la superficie virtual del terreno. Se aprecia que la capa de terreno que se debe desprejar es de aproximadamente 30cm desde la superficie.

Analizando el valor obtenido mediante la metodología empírica anteriormente mencionada, se determina que es un valor aceptable considerando la profundidad del emplazamiento y la lejanía de la línea de costa. En este punto el oleaje no es significativo, por lo que no hay tanta energía para producir erosión o arrastre de sedimentos.



AUTOCAD 2007
Figura 88. Corte longitudinal de Playa Naranjo (cotas en metros) (Fuente: del Autor)

Para determinar el punto virtual de empotramiento de los pilotes se seguirá también la metodología recomendada por los japoneses. Según ellos, el punto de empotramiento se encuentra a una profundidad $1/\beta$ bajo la superficie virtual del terreno y depende de las características del mismo (tomado en cuenta mediante el coeficiente de balasto) y las características propias del pilote como su módulo de elasticidad, inercia y diámetro. La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_{CH}D}{4EI}}$$

Donde,

K_{CH} : coeficiente de balasto a una profundidad de $1/\beta$

$$K_{CH} = 1.5 N \text{ (N/cm}^3\text{)}$$

N: valor promedio del valor de N de SPT a la profundidad promedio de $1/\beta$

D: diámetro externo del pilote

E: módulo de elasticidad del pilote

I: inercia del pilote

Considérese un pilote de acero de 24 in (60.96 cm) de diámetro externo y 0.625 in de espesor. A 3m de profundidad, el valor promedio de N es de 15.6 según el Cuadro 9. Entonces,

$$K_{CH} = 1.5 (15.6) = 23.4 \text{ N/cm}^3 = 2.39 \text{ kg/cm}^3$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{2.39 (60.96)}{4 (2.1 \times 10^6) (130568)}} = 0.00339 \text{ cm}^{-1}$$

Así,

$$1/\beta = 300 \text{ cm}$$

Se considerará entonces que el punto virtual de empotramiento de la estructura está 3.30 m por debajo de la superficie natural del terreno.

Diseño de las propuestas

Se presenta a continuación un resumen de las cargas de diseño estimadas en apartados anteriores.

| CUADRO 35. RESUMEN DE LAS CARGAS DE DISEÑO | |
|---|-----------|
| CA | 23.36 ton |
| CR1 | 8.18 ton |
| CE1 | 16.69 ton |
| CR2 | 5.84 ton |
| CC1 | 3.49 ton |
| CE2 | 5.36 ton |
| CR3 | 1.88 ton |
| CC2 | 0.54 ton |
| <p>CA: carga de atraque CE₁: carga de empuje de la embarcación sobre la estructura durante evento extremo CE₂: carga de empuje de la embarcación bajo condiciones normales de operación CR₁: carga de rozamiento de la embarcación debido al atraque. CR₂: carga de rozamiento de la embarcación con la estructura cuando esta se encuentra atracada durante evento extremo. CR₃: carga de rozamiento de la embarcación con la estructura cuando esta se encuentra atracada en condiciones normales de operación. CC₁: cargas de amarras durante evento extremo CC₂: cargas de amarras bajo condiciones normales de operación</p> | |

| CUADRO 36 . RESUMEN DE CARGAS EN CADENAS | | |
|--|----------------|----------------|
| Carga | Propuesta No.1 | Propuesta No.2 |
| T (ton) | 4.65 | 4.65 |
| K1 (ton) | 7.81 | 9.54 |
| K2 (ton) | 5.58 | 6.81 |
| K3 (ton) | 1.79 | 2.19 |
| <p>T: tiro de las cadenas de tensión K1: tiro de las cadenas de cortante debido a CR1 K2: tiro de las cadenas de cortante debido a CR2 K3: tiro de las cadenas de cortante debido a CR3</p> | | |

En el caso de las cargas de rozamiento (CR1, CR2 y CR3) sobre el panel de la defensa, las cargas deben ser soportadas por las cadenas de cortante. El tiro de estas cadenas depende de la configuración de la estructura, de manera que se

presenta en el Cuadro 36 el tiro de las cadenas de cortante; se incluye también el tiro de las cadenas de tensión, las cuales permiten una deflexión uniforme del panel.

Consideraciones generales de diseño

- El diseño estructural de los miembros de acero se realiza con base en el Manual de Construcción de Estructuras de Acero (AISC, 1999). Por su parte, las estructuras de concreto se diseñan siguiendo las disposiciones del Reglamento para Concreto Estructural (ACI, 2008).
- Las metodologías de cálculo de las acciones medioambientales del ferry sobre la estructura ya toman en cuenta el efecto dinámico de ellas, de manera que son tratadas como un sistema estático de cargas equivalentes.
- Ambas propuestas consideran la construcción de dos duques de alba. Cada duque es diseñado como si uno solo recibiera el impacto de la embarcación, debido a que esta llega con cierto ángulo respecto a las estructuras de atraque y hace contacto inicial con un solo duque.
- Una vez el ferry está atracado, las acciones totales (cargas de empuje y de amarras) sobre él ocasionadas por la acción de los agentes medioambientales son resistidas por ambos duques.
- Las propiedades geométricas de diseño de los elementos de acero (diámetro, área, módulo de sección, inercia y radio de giro) se calculan para la sección comercial, reduciéndole el sobre espesor requerido según la zona donde se ubique el elemento.
- Debido a la falta de información geotécnica de Playa Naranjo, se realiza un diseño preliminar de las cimentaciones suponiendo que el tipo de suelos en Playa Naranjo es similar a los encontrados en Paquera.
- El diseño de las cimentaciones se realiza por medio de correlaciones empíricas en función del SPT.

Propuesta No.1

La literatura técnica (Herrejón, 1979) recomienda construir estructuras flexibles sobre pilotes verticales. De esta manera, la Propuesta #1 se inspira en la tipología estructural de los actuales duques de alba de la Terminal de Cabotaje de Barrio El Carmen, Puntarenas.



Figura 89. Duques de alba de la Terminal de Puntarenas (Fuente: del Autor)

Como dato curioso nótese que en la figura anterior de los duques de Barrio El Carmen todos los elementos (columnas, vigas, arriostres horizontales y verticales) tienen la misma sección transversal, lo cual refleja una deficiencia en su diseño (o ausencia del mismo).

Por recomendación del Ing. Mauricio Carranza, para efectos del cálculo de la carga sísmica la estructura se considera como un tipo muro (CSCR, 2002), debido a que las fuerzas sísmicas son resistidas por medio de marcos arriostrados de acero. La carga sísmica se estima como el peso propio de la estructura multiplicado por su correspondiente coeficiente sísmico y posteriormente distribuida por niveles.

Propuesta No.2.

La literatura técnica (Herrejón, 1979) recomienda construir duques de alba rígidos, apoyados sobre pilotes inclinados y con un cabezal pesado. Se propone entonces una estructura que cumpla con tales características, al igual que la mostrada en la siguiente figura.



Figura 90. Duques de alba en megapuerto (Shibata, 2002)

La tipología estructural corresponde a una estructura tipo voladizo (CSCR, 2002), debido a que las fuerzas sísmicas son resistidas por medio de una o varias columnas que actúan como voladizos aislados. Debido a que la masa de la estructura se concentra en el cabezal de ella, la carga sísmica se aplica en este punto con una magnitud igual al peso propio de la estructura multiplicado por el correspondiente coeficiente sísmico.

Modelación estructural

El modelado estructural de las dos propuestas de duques de alba se realizó con el software SAP2000. Por medio de este se determinaron los esfuerzos y cargas de los distintos miembros estructurales. Posteriormente se prepararon hojas de cálculo en Microsoft Excel para realizar el diseño de los distintos elementos.

El proceso de diseño fue iterativo, es decir, se realizaron diseños primarios que fueron optimizados hasta llegar a los diseños finales. En el caso de la Propuesta No.1 se realizaron diversos diseños distintos por medio de los cuales se optimizó la altura entre niveles, las dimensiones en planta, la configuración del arriostramiento de la estructura y las características geométricas de los elementos estructurales.

Por otro lado, en el caso de la Propuesta No.2 se realizaron diferentes diseños que permitieron optimizar las dimensiones del cabezal de concreto, la configuración en planta de los pilotes de acero y el ángulo de inclinación de los mismos.

Debido a la extensión de las memorias de cálculo de cada una de las propuestas, su detalle se presenta en el Apéndice 5 para la Propuesta No.1 y en el Apéndice 6 para la Propuesta No.2.

Resultados

Se realizó un estudio del estado de conservación actual de las facilidades de atraque de la terminal, en el cual se logró evidenciar el grave deterioro de las estructuras de atraque, como lo son la rampa de acceso, el marco de izaje y los duques de alba.

Por medio de la metodología contenida en la ROM 0.0, se determinó que la vida útil del proyecto debe ser de 25 años, tomando en cuenta las repercusiones sociales, ambientales y económicas del proyecto y la afectación del área de influencia del mismo. Se calculó el Índice de Repercusión Económica (IRE), obteniéndose un valor de 7.16, lo cual clasifica al proyecto como uno de repercusión económica media. Se calculó también el Índice de Repercusión Ambiental y Social (ISA), el cual dio un valor de 3, clasificando al proyecto como sin repercusión social y ambiental significativa.

Considerando criterios de operatividad portuaria, se estableció que el período de retorno de las acciones medioambientales por diseñar debe ser de 25 años.

Con base en una entrevista realizada a la Dirección de Gestión de la División Marítimo Portuaria del MOPT se determinó que la embarcación de diseño para este proyecto debía de ser el San Lucas II, un ferry con una eslora de 67.2m y un tonelaje de registro bruto de 1058 ton.

Se determinó, utilizando el método de la energía cinética, que la energía de atraque del ferry es de 6.57 ton-m, y que para poder absorberla se requiere de una defensa SPC 600H FC10 (Shibata, 2002) o una HC 600H J1 (Bridgestone, 1998) o similar. La reacción de estas defensas es del orden de las 23 ton, siendo esta la carga de atraque de diseño.

Se calculó el efecto total de las acciones medioambientales sobre el ferry, es decir, las cargas actuantes sobre la embarcación producto

del viento, las corrientes y el oleaje. Se muestra un resumen de estas acciones en el Cuadro 37. Posteriormente, se calculó las cargas resultantes sobre los duques de alba, considerando que se construirán dos de estas estructuras, colocadas a una distancia de un tercio de la eslora total de la embarcación de diseño. Los resultados se muestran en el Cuadro 38.

Con base en los efectos totales de las acciones medioambientales actuantes sobre la estructura indirectamente a través del ferry, se determinó mediante la metodología contenida en la ROM 3.1-99 (2000) que las cargas de las amarras requieren un instrumento de amarre, ya sea bita o cornamusa, con una capacidad de tiro de 18 ton.

La carga dominante del proyecto es la carga de atraque. Las propuestas consideran que deben construirse dos duques de alba, pero cada uno de ellos se diseña como si uno solo recibiera toda la carga de atraque de la embarcación, ya que difícilmente el ferry logra hacer un primer contacto con las defensas de ambos duques al mismo tiempo; usualmente el ferry choca con uno y luego gira hasta hacer contacto con el otro.

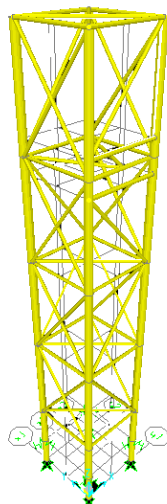
| CUADRO 37. RESUMEN DE LAS ACCIONES TOTALES DE DISEÑO DEBIDAS A LOS AGENTES MEDIOAMBIENTALES ($P_R = 25$ AÑOS) | | | | | | |
|--|-------------------------|----------------------|----------|----------|-----------|---------|
| | | Dirección del efecto | | | | |
| Agente | Acción | W | NW | N | NE | E |
| Viento | F _{TV} (ton) | 0.0000 | -12.7940 | -21.1969 | -20.4334 | 0.0000 |
| | F _{LV} (ton) | 2.7439 | 3.3482 | 0.0000 | -5.3475 | -5.2317 |
| | M _{TV} (ton-m) | 0.0000 | 84.2296 | 53.1618 | -134.5231 | 0.0000 |
| Corrientes Astronómicas | F _{TCP} (ton) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| | F _{LCP} (ton) | 0.1837 | 0.1837 | 0.1837 | -0.1837 | -0.1837 |
| Oleaje | F _{TW} (ton) | 0.0000 | -1.8447 | -2.8463 | -1.0907 | 0.0000 |
| | F _{LW} (ton) | 0.4588 | 1.8447 | 0.0000 | -1.0907 | 0.0000 |
| Efectos Totales | F _T (ton) | 0.0000 | -14.6387 | -24.0431 | -21.5241 | 0.0000 |
| | F _L (ton) | 3.3865 | 5.3767 | 0.1837 | -6.6219 | -5.4154 |
| | M _T (ton-m) | 0.0000 | 84.2296 | 53.1618 | -134.5231 | 0.0000 |

Elaborado con Microsoft Excel

| CUADRO 38. REACCIONES SOBRE LAS DEFENSAS DE LOS DUQUES | | | | | | |
|--|------------------------|------|--------|--------|---------|-------|
| | Acción | W | NW | N | NE | E |
| Efectos Totales | F _T (ton) | 0.00 | -14.64 | -24.04 | -21.52 | 0.00 |
| | F _L (ton) | 3.39 | 5.38 | 0.18 | -6.62 | -5.42 |
| | M _T (ton-m) | 0.00 | 84.23 | 53.16 | -134.52 | 0.00 |
| Reacciones | R _A (ton) | 0.00 | 3.61 | 9.68 | 16.69 | 0.00 |
| | R _B (ton) | 0.00 | 11.03 | 14.36 | 4.84 | 0.00 |

Elaborado con Microsoft Excel

Propuesta No.1



SAP2000 V11

Figura 91. Vista en 3d de la Propuestas No.1

La propuesta #1 consiste en una estructura tipo marco arriostrado de acero. El material empleado es acero marino bajo la norma A690, el cual tiene un esfuerzo de fluencia (f_y) de 50ksi. Las columnas son de pilotes de 32.38 cm de diámetro. Tanto las vigas, arriostres horizontales y verticales son de 13.97 cm de diámetro. Los niveles están a 4m de altura.

A falta de otro criterio, el estado límite de servicio referente a las deflexiones de la estructura se limitó a 5cm, según el criterio de deflexiones horizontales máximas en pilas de puentes (AASHTO, 1996). El desplazamiento más crítico del estructura bajo las combinaciones de servicio definidas es de 4,08cm. La memoria de cálculo de esta propuesta se presenta en el Apéndice 5. Un esquema preliminar detallado de la propuesta se encuentra en el Apéndice 1.

La defensa se ubicará sobre una placa metálica a colocar sobre las 3 vigas que se

aprecian en la vista frontal del 4 nivel de la estructura.

En el quinto nivel se colocará una placa metálica de Jordomex que sirva como entrepiso y encima de ella se colocará el instrumento de amarre.

| CUADRO 39. DETALLE DE SECCIONES DE LA PROPUESTA No.1 | | |
|---|----------------------|---------------------|
| Elemento | Diámetro (cm) | Espesor (mm) |
| Columnas | 32.38 | 15.88 |
| Vigas | 13.97 | 10.50 |
| Diagonales Horizontales | 13.97 | 10.50 |
| Diagonales verticales | 13.97 | 15.88 |

Elaborado con Microsoft Excel

Geotecnia

Se realizó un diseño preliminar de las cimentaciones, en el cual se determinó que la longitud de hincado de los pilotes bajo el lecho marino es de 34m con el fin de lograr la capacidad requerida de diseño, tanto para la extracción como para el hundimiento de los pilotes. Un problema geotécnico importante lo representan las cargas horizontales en la base de la estructura, debido a que no se cuenta con información confiable sobre Playa Naranjo y por tanto no se conoce la resistencia real del terreno a la rotura horizontal.

| CUADRO 40. DATOS PRELIMINARES DEL DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES | | |
|--|---|---|
| Descripción | Resistencia requerida según análisis (ton) | Resistencia obtenida a 34m (ton) |
| Hundimiento del pilote | 73.82 | 75.28 |
| Extracción del pilote | 53.90 | 54.57 |
| Rotura horizontal del terreno | 3.75 | 15.90 |

Elaborado con Microsoft Excel

Proceso constructivo

El proceso constructivo consiste en utilizar un pilote guía que sirva para hincar el pilote estructural, de manera que la cabeza de este quede aproximadamente 1m por encima del lecho marino. Posteriormente un buzo separaría ambos elementos (la unión es apernada) dejando los pilotes al nivel deseado. Para el proceso de hincado sería necesario contar ya sea con una barcaza o con un marco de acero provisional que permita manipular el equipo de hincado. Se requiere que la alineación de los pilotes hincados sea sumamente precisa para poder completar la siguiente etapa. El proceso de hincado no se puede realizar desde tierra debido a que la ubicación de los duques es muy lejana a la línea de costa, ubicándose el duque extremo a 55 metros de ésta.

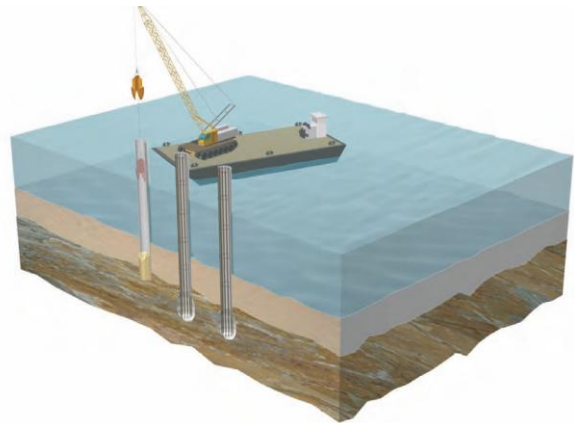
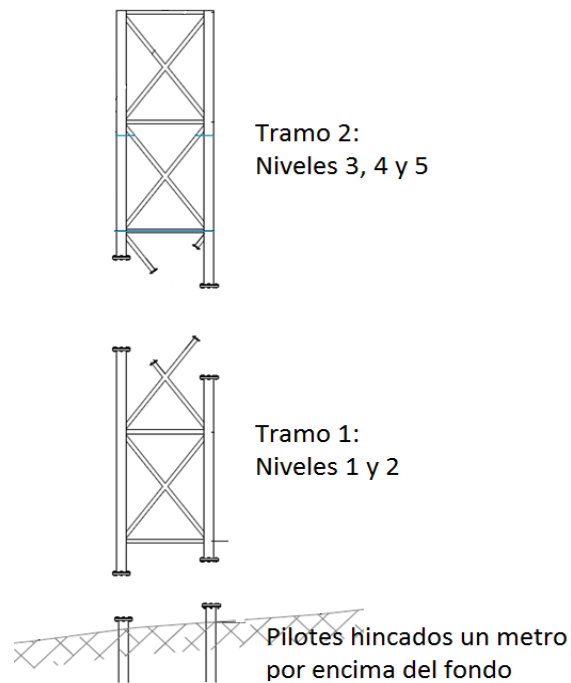


Figura 92. Detalle de proceso constructivo (Puertos del Estado, 2008)

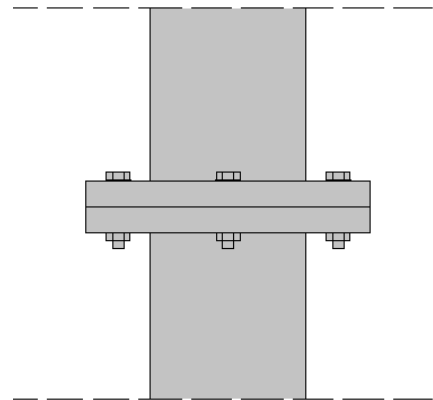
Al tiempo que los 4 pilotes son hincados, puede irse construyendo en tierra la superestructura del duque. Dicha estructura se construiría en dos partes, la primera con los niveles 1 y 2 y la segunda con los niveles 3, 4 y 5. Deben realizarse pruebas de ultrasonido a las soldaduras con el fin de corroborar su correcta ejecución e impermeabilidad.



AUTOCAD 2007

Figura 93. Esquema de colocación de la superestructura del duque. (Fuente: del Autor)

Posteriormente, se colocaría una grúa sobre una barcaza (eventualmente uno de los ferries: preferiblemente el Tambor II debido a su mejor maniobrabilidad) y cada una de las partes se izaría y descendería hasta el nivel de los pilotes ya hincados. Un buzo colocaría y sujetaría entonces los pernos de las uniones. Este mismo proceso se realizaría con la segunda parte de la superestructura. Se requerirá contar con equipo submarino con el fin de poder asegurar la colocación de los pernos de unión.



AUTOCAD 2007

Figura 94. Detalle conceptual de unión para segmentos de estructura (Fuente: del Autor)

Debido a que la cabeza de los pilotes debe dejarse sobre el lecho marino a un nivel específico, es conveniente el haber realizado anteriormente una prueba dinámica de carga, con el fin de corroborar el diseño propuesto. Este diseño tiene que haber sido afinado ya con un estudio de suelos del emplazamiento en estudio.

Inspección y mantenimiento

Debido que existen uniones por debajo del nivel de marea baja, se recomienda el que periódicamente un buzo descienda y realice una inspección visual de ellas. El costo de mantenimiento consistiría en el cambio de los ánodos de sacrificio cuando se requiera, pintura y el cambio de la defensa y las almohadillas del panel, los cuales tienen una vida útil de aproximadamente 15 años.

Costo

Se realizó un presupuesto con el cual se determinó que el costo de esta alternativa es de \$ 213,462.52. Se muestra el detalle en el Cuadro 41.

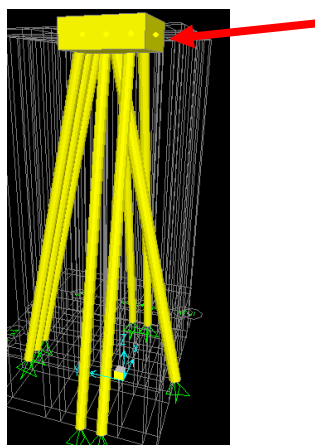
Considerando que deben construirse dos duques de alba exactamente iguales, el costo global de esta alternativa es de \$ 426,925.04.

CUADRO 41. PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA No.1 (1 Duque)

| Descripción | Cantidad | Un | Precio Unitario | Precio Total |
|---|----------|-----|-----------------|---------------|
| PILOTES DE ACERO | 34.23 | ton | \$ 1,847.00 | \$ 63,223.55 |
| HINCA DE PILOTES | 136 | m | \$ 80.00 | \$ 10,720.00 |
| SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DEFENSAS DE HULE Y ACCESORIOS | 1 | un | \$ 15,000.00 | \$ 15,000.00 |
| SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTO DE AMARRE | 1 | un | \$ 15,000.00 | \$ 15,000.00 |
| SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ÁNODOS GALVÁNICOS | 8 | un | \$ 852.27 | \$ 6,818.17 |
| EMPALME DE PILOTES EN SITIO | 12 | un | \$ 455.25 | \$ 5,463.00 |
| EMPALME DE PILOTES EN BANCO | 104.0 | un | \$ 408.00 | \$ 42,432.00 |
| TRATAMIENTO CON PINTURA | 119.5 | m2 | \$ 55.27 | \$ 6,605.80 |
| ALQUILER DE GRÚA NIPPON SHARYO D308SA DE 40 TON | 24.0 | hr | \$ 100.00 | \$ 2,400.00 |
| ALQUILER DE BARCAZA | 24.0 | hr | \$ 450.00 | \$ 10,800.00 |
| PRUEBA DINÁMICA DE PILOTE | 4 | | \$ 2,500.00 | \$ 10,000.00 |
| PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE SUELOS | 1 | un | \$ 25,000.00 | \$ 25,000.00 |
| | | | TOTAL | \$ 213,462.52 |

Elaborado con Microsoft Excel

Propuesta No.2



SAP2000 V11

Figura 95. Vista en 3d de Propuesta No.2

La propuesta #2 consiste en una estructura tipo péndulo invertido. Por disposiciones del ACI 318S-08, la resistencia del concreto del cabezal

debe ser de 350 kg/cm^2 . Para el caso de los pilotes, se propone el mismo tipo de acero que para la Propuesta #1, es decir, acero marino bajo la norma A690. Por experiencia de proyectos de naturaleza similar (Eco Construcciones RM et al, 2002) se estableció que el recubrimiento del acero de refuerzo del cabezal sea de 10 cm.

La estructura se compone de un cabezal de concreto de $3.5 \times 3.5 \times 1.20\text{m}$. Este se apoya sobre 8 pilotes inclinados a 12° . Los siete pilotes laterales son de 50cm, mientras que el pilote central es de 60cm de diámetro. Al igual que en la propuesta anterior, la deflexión lateral del cabezal al ser sometido a la carga de ataque se limitó a 5cm (AASHTO, 1996). El desplazamiento crítico bajo las combinaciones de servicio es de 13mm. La memoria de cálculo de esta propuesta se presenta en el Apéndice 6.

Las dimensiones del cabezal se establecieron tomando en cuenta el espacio necesario para acomodar los pilotes y optimizar su eficiencia. Adicionalmente, el espesor del cabezal se limitó tomando en cuenta el espacio

necesario para montar la defensa y un empotramiento adecuado de los pilotes. La defensa tiene un diámetro de 90 cm y los pernos de anclaje de la misma son de 175mm de longitud. Los fabricantes recomiendan que en estructuras de concreto, la distancia a los bordes respecto a la ubicación del anclaje sea al menos igual a la longitud de los pernos de anclaje. Por otro lado, el ACI (2008) es más crítico y establece que la distancia al borde, debe ser de al menos 1.5 veces la longitud efectiva del perno. Así, la dimensión del espesor del cabezal se limitó tomando en cuenta las disposiciones establecidas por el ACI (2008), ya que son más conservadoras. La defensa se colocará donde la flecha de la figura anterior lo indica.

El instrumento de amarre se ubicará sobre el cabezal.

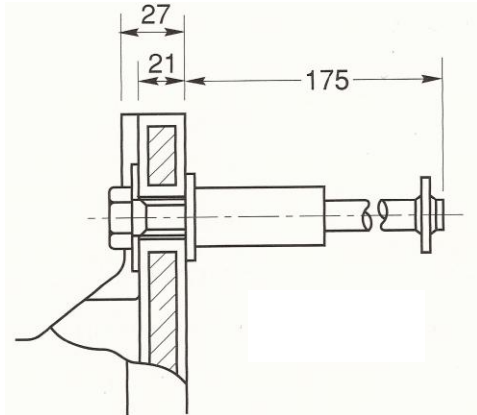


Figura 97. Detalle de pernos de anclaje de la defensa (Unidades: mm) (Bridgestone, 1998)

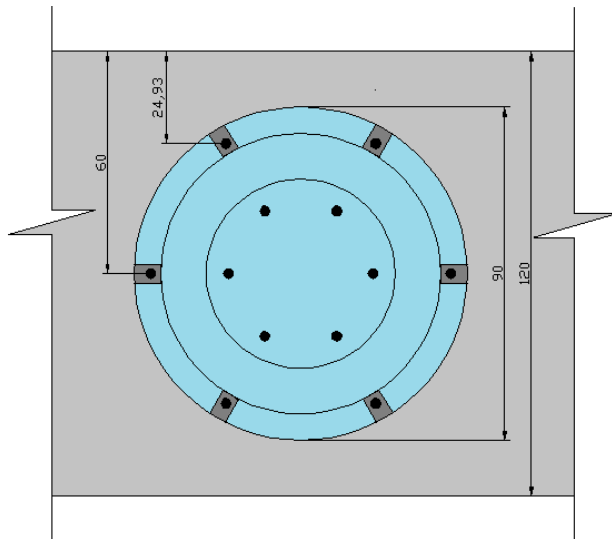
Geotecnia

Con base en el diseño preliminar realizado de las cimentaciones de la estructura, se determinó que la longitud de hincado de los pilotes laterales bajo el lecho marino es de 16m con el fin de lograr la capacidad requerida de diseño, tanto para la extracción como para el hundimiento de los pilotes. En el caso del pilote central, la profundidad de hincado estimada es de 23m, debido a que las cargas actuantes sobre el mismo son de mayor magnitud.

La transmisión de cargas es bastante efectiva a las cimentaciones, ya que al contarse con pilotes inclinados las cargas laterales actuantes sobre el cabezal se transmiten principalmente a carga axial sobre los pilotes.

| CUADRO 42. DETALLE DE SECCIONES DE LA PROPUESTA No.2 | | |
|--|---------------|--------------|
| Descripción | Diámetro (cm) | Espesor (mm) |
| Pilotes perimetrales | 50.80 | 15.88 |
| Pilote central | 60.96 | 15.88 |

Elaborado con Microsoft Excel



AUTOCAD 2007

Figura 96. Detalle de colocación de defensa en el cabezal (Unidades: mm) (Fuente: del Autor)

| CUADRO 43. DATOS PRELIMINARES DEL DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES | | |
|---|--|----------------------------|
| Descripción | Resistencia requerida según análisis (ton) | Resistencia obtenida (ton) |
| Pilotes perimetrales (Longitud de hincado = 16m) | | |
| Hundimiento del pilote | 47.63 | 88.39 |
| Extracción del pilote | 37.34 | 37.44 |
| Pilote central (Longitud de hincado = 23m) | | |
| Hundimiento del pilote | 69.10 | 140.75 |
| Extracción del pilote | 64.81 | 67.39 |

Proceso constructivo

El proceso de hincado de los pilotes requerirá el utilizar una barcaza y/o una estructura provisional de acero para alinear perfectamente el equipo de hincado de los pilotes y dar el ángulo de inclinación requerido. La resistencia de los pilotes podría determinarse en campo, por lo que la longitud de hincado se va a definir directamente en el momento de construcción. Por ello debe contarse con pilotes adicionales en el caso que se determine que la profundidad de hincado es mayor a la de diseño preliminar.

Una vez hincados los pilotes se procede a la instalación de la formaleta sobre la cabeza de los pilotes. El volumen de concreto a chorrear es de 15 m³, por lo que será necesario contratar 2 camiones mezcladores y una bomba estacionaria, que colocadas sobre el ferry (en este caso puede ser el San Lucas II) se encarguen de completar el proceso. La chorrea del cabezal debe realizarse completamente en una sola tanda, con el fin de evitar la formación de juntas frías a través de las cuales filtre el agua marina y se formen focos de corrosión.

Debe tenerse en cuenta que si la chorrea se realiza de día, habrán efectos perjudiciales sobre las propiedades de la mezcla de concreto. El calor, la humedad, el viento y la radiación solar pueden ocasionar problemas durante el mezclado, colocación y curado de la mezcla. Estos problemas se relacionan con el aumento en la necesidad de agua, un incremento de la segregación del agregado, pérdida de la trabajabilidad, formación de juntas frías indeseables, dificultad para controlar el contenido de aire, agrietamiento plástico por contracción y agrietamiento por temperatura. Para el concreto endurecido se tendrían también consecuencias adversas, como pérdida de la resistencia (debido al exceso en la demanda de agua), un incremento el agrietamiento por retracción y fraguado (debido al enfriamiento global de los elementos), disminución de la durabilidad (por causa del agrietamiento), aumento de la permeabilidad y corrosión del acero de refuerzo.

Por todas estas razones, se recomienda que la chorrea del concreto se realice en horario nocturno. Sin embargo, si la chorrea se conduce de día, se recomienda seguir las recomendaciones dadas por el ACI 305 "Hot Wheater Concrete". Entre ellas se incluye el sustituir agua líquida por hielo, el utilizar cemento

con bajo calor de hidratación, el uso de aditivos retardadores de fragua, reducción de los tiempos de colocación, preenfriamiento de los agregados y temperatura del agua de cura. Las puzolanas pueden ser usadas para reemplazar una porción del cemento para bajar la temperatura de hidratación.

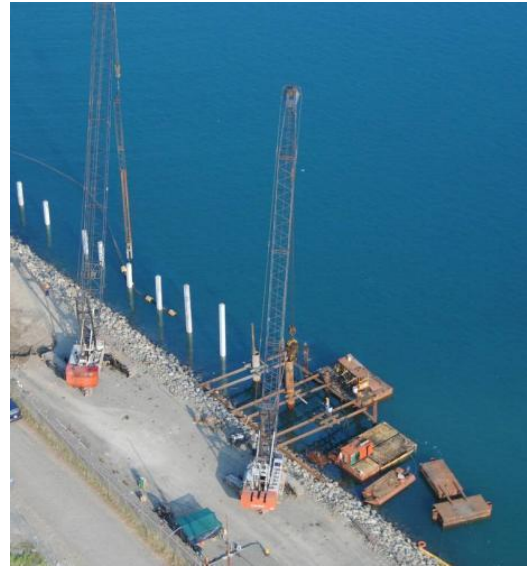


Figura 98. Equipo utilizado en la construcción del muelle flotante de la Marina Pez Vela en Quepos, Puntarenas (Fotografía cortesía del Ing. Luis Millán)

Se muestra en la figura anterior el equipo de construcción y las estructuras provisionales de acero utilizadas en la construcción del muelle flotante de la Marina Pez Vela. El equipo propuesto para el proyecto en estudio es similar a este con la salvedad de que la grúa de hincado debe estar sobre una barcaza o un ferry debido a la lejanía respecto a la costa del relleno de la terminal.

Inspección y mantenimiento

La inspección de la estructura podría realizarse utilizando el método de la medición de la protección catódica, por medio de mediciones de potencial. El costo de mantenimiento consistiría en el cambio de los ánodos de sacrificio cuando se requiera, pintura y el cambio de la defensa y las almohadillas del panel, los cuales tienen una vida útil de aproximadamente 15 años.

Costo

Según el presupuesto del proyecto, el costo de esta alternativa es de \$204,705.43. A continuación se muestra el detalle:

Considerando que deben construirse dos duques de alba exactamente iguales, el costo global de esta alternativa es de \$409,410.86.

| CUADRO 44. PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA No.2 (1 Duque) | | | | |
|--|-----------------|---------------|------------------------|----------------------|
| Descripción | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Precio Total |
| PILOTES DE ACERO | 50.48 | ton | \$ 1,847.00 | \$ 93,236.56 |
| HINCA DE PILOTES | 135 | m | \$ 80.00 | \$ 10,800.00 |
| SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DEFENSAS DE HULE Y ACCESORIOS | 1 | un | \$ 15,000.00 | \$ 15,000.00 |
| SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTO DE AMARRE | 1 | un | \$ 15,000.00 | \$ 15,000.00 |
| SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ÁNODOS GALVÁNICOS | 16 | un | \$ 852.27 | \$ 13,636.34 |
| EMPALME DE PILOTES EN SITIO | 8 | un | \$ 455.25 | \$ 3,642.00 |
| TRATAMIENTO CON PINTURA | 65.8 | m2 | \$ 55.27 | \$ 3,637.84 |
| SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO GRADO 60 | 0.4 | ton | \$ 3,031.70 | \$ 1,212.68 |
| SUMINISTRO Y COLOCACIÓN LOSA ESTRUCTURAL DE CONCRETO, f'c=350 kg/cm ² | 15 | m3 | \$ 236.00 | \$ 3,540.20 |
| PRUEBA DINÁMICA DE PILOTE | 8 | un | \$ 2,500.00 | \$ 20,000.00 |
| PERFORACIÓN EXPLORATORIA DE SUELOS | 1 | un | \$ 25,000.00 | \$ 25,000.00 |
| | | | TOTAL | \$ 204,705.43 |

Elaborado con Microsoft Excel

Análisis de resultados

Análisis técnico del estado de conservación de la terminal

Con base en el estudio del estado de las facilidades de atraque de la Terminal de Playa Naranjo se determina que el grave deterioro de ésta se debe a la inexistencia de un mantenimiento preventivo y correctivo. Desde el día en que los duques de alba y resto de facilidades fueron construidos nunca recibieron un mantenimiento adecuado. El deterioro de un elemento ha llevado consecuentemente al deterioro de otro, aunado al avanzado grado de corrosión que muestran todas las estructuras. Los duques de alba actuales muestran evidencias de que alguna vez tuvieron defensas (probablemente llantas de hule); sin embargo, en algún punto estas se eliminaron y se dejó al duque totalmente desprovisto de un sistema que le ayudara a absorber la energía del atraque de los ferries. Desde ese momento, las deformaciones en los elementos estructurales ha sido evidente, tanto así que es posible apreciar a simple vista que los duques se encuentran volcados. A su vez, el deterioro de los duques ocasionó que estos ya no fueran adecuados para el atraque de las embarcaciones, pues el contacto directo entre el duque y el ferry amenaza con generar daños al casco de este. Actualmente los duques cumplen solamente funciones de amarre y no de atraque, y esto es consecuencia de que las cargas de amarra no son significativas (lo cual no pone en riesgo a los duques), tal y como se demuestra en el Cuadro 28.

Como se mencionó anteriormente, el deterioro de un elemento lleva al deterioro de otro. El marco de izaje también tiene rastros de haber tenido defensas alguna vez, de manera que el atraque inicial de la embarcación lo absorbían los duques y posteriormente el barco avanzaba muy despacio, por impulso, y hacía

contacto con las defensas del marco de izaje. Finalmente, la rampa se descendía hasta tomar un nivel adecuado respecto al ferry y permitir así la salida y entrada de vehículos. Desgraciadamente, tanto los duques como el marco de izaje perdieron sus defensas, por lo que la maniobra de atraque requirió desde ese momento que fuera la rampa de acceso la que absorbiera el atraque de la embarcación; por lo que ésta no se hacía descender hasta el momento en que el ferry descansaba sobre las defensas del marco de izaje, sino que esta se mantiene descendida para que el ferry choque frontalmente con la misma y transmita las cargas axialmente hasta sus fundaciones. Evidentemente, la rampa nunca fue diseñada para tomar dichas cargas, lo cual se refleja en las deformaciones de sus elementos y en el deterioro del bloque de concreto que actúa como base de la rampa, y que se encuentra en mal estado debido a las fracturas que exponen al acero de refuerzo al ambiente corrosivo.

En resumen, las facilidades de atraque actuales no reúnen condiciones operativas adecuadas para brindar a los transbordadores y usuarios un servicio eficiente y seguro, por lo que deben ser renovadas.

Análisis socioeconómico y ambiental del proyecto

Con base en el método, ya ampliamente comentado de la ROM 0.0, se obtuvo que este proyecto en particular requiere ser diseñado para una vida útil de 25 años. Esa vida útil es consecuente con los estudios económicos que se han realizado de la ruta Barrio El Carmen – Playa Naranjo, y que demuestran una vulnerabilidad en la ruta y que es de esperar que a mediano o largo plazo la terminal de Playa Naranjo desaparezca. Es injustificable desde cualquier punto de vista diseñar para una vida útil más extensa si se prevé

que la terminal pueda dejar de operar. Esto también justifica el hecho de que el proyecto se haya categorizado como de repercusión económica media. Esto se debe a que el proyecto sirve al sector económico del turismo, la industria y el comercio, esenciales para la economía de este país, pero a su vez hay dos rutas alternativas de mayor demanda que sirven también al Golfo de Nicoya de la misma manera, como lo son la ruta Barrio El Carmen – Paquera y la ruta a través del Puente de La Amistad. Mientras la Naviera Tambor (encargada de la ruta de Paquera) pronto se reforzará con un ferry de características similares al Tambor II (ferry de mayor capacidad que presta servicios en el Golfo de Nicoya), Coonatramar está llegando a un grado tal de pérdidas que más bien podría hacerlo llevar a deshacerse de alguno de los dos ferries que posee.

El proyecto se categorizó como sin repercusión social y ambiental significativa, debido a que ante una eventual falla la pérdida de vidas humanas es posible pero poco probable. En caso de que la terminal cese sus operaciones la alarma social no es significativa, pues como se acaba de mencionar, hay dos rutas más que pueden utilizarse. Desde el punto de vista ambiental es muy poco probable que se produzcan daños al medio ambiente durante las etapas de construcción o servicio del proyecto, ya que el mismo no genera impactos ambientales significativos, como por ejemplo movimientos de tierra o modificación de la playa. El daño generado al ecosistema marino será leve, pues los duques se ubicarán prácticamente en el mismo sitio donde se encuentran los actuales. Sin embargo, debe considerarse que ya hay algunas intrusiones marinas, es decir, crustáceos y moluscos que pueden tener como hábitat las estructuras actuales.

Análisis técnico del proyecto

Las dos propuestas analizadas en este proyecto suponen la construcción de dos duques de alba. La razón de esto es que por criterios de operatividad es conveniente contar con dos de estas estructuras para garantizar la estabilidad del ferry durante las operaciones de carga y

descarga. Si se colocara solo un duque, los agentes medioambientales tenderían a ocasionar que el ferry gire sobre sí mismo, por lo que se tendría que pensar en la construcción de duques de amarre para poder estabilizar el ferry.

Sin embargo, si tomamos en cuenta que la carga dominante del proyecto es la carga de atraque y los resultados del Cuadro 37 muestran que la carga de empuje máxima en el caso de contar con un solo duque es de 24.04 ton (acciones provenientes del norte), y comparamos dicha carga con la carga de atraque del proyecto (23.36 ton) se nota que la diferencia de las mismas es de tan solo 3%, por lo que estructuralmente un solo duque es capaz de resistir las cargas impuestas. Esto significa que si por razones económicas solo es posible construir un solo duque, cualquiera de los duques de las dos propuestas es capaz de resistir las cargas impuestas. Se hace la salvedad, eso sí, de que se requerirá de duques de amarre adicionales (que podría ser uno o varios dependiendo de lo que dicte el análisis), pudiendo ser posible que no exista ningún ahorro.

Con base en los resultados de las acciones generadas por los agentes medioambientales resumidos en el Cuadro 37 se comprueba la hipótesis de que el agente medioambiental de diseño dominante es el viento. Como se aprecia en dicho cuadro, las cargas producidas por el viento son mucho mayores que las generadas por las corrientes o el oleaje. Como se había mencionado en el Estudio Técnico, el oleaje actuante sobre el emplazamiento de Playa Naranjo es el oleaje tipo Sea, es decir, aquel generado localmente por efectos del viento.

Al no contar con estudio de suelos de la Terminal de Playa Naranjo, el diseño de las cimentaciones de las estructuras se realizó con base a un estudio de suelos llevado a cabo en Paquera en 1992. Considerando que ambos sitios comparten la misma formación geológica y son afectados por la misma hidrodinámica marina, es razonable suponer que los suelos presentes en ambos sitios sean parecidos. Sin embargo, es prácticamente imposible que los suelos sean iguales. Por esta razón, el diseño de las cimentaciones debe considerarse como un diseño preliminar y no definitivo. Es indispensable el que se realice un estudio de suelos antes de ejecutar el proyecto o pruebas de carga a los pilotes con el fin de conocer la resistencia real del

terreno. Si se va a realizar una inversión mayor a los \$410.000,00 es totalmente justificable el invertir en alguna de las alternativas mencionadas para determinar la resistencia real del terreno. Sería imprudente construir las estructuras y arriesgar toda esa inversión por causa de una falla geotécnica provocada por el desconocimiento de los suelos presentes.

Análisis comparativo de alternativas

Tal y como se definió en el alcance de este proyecto, se realizaría un diseño preliminar de dos posibles alternativas para los duques de alba de la terminal y posteriormente, se escogería una de las dos; siendo la alternativa seleccionada aquella a la cual se le realizaría el diseño integral y final.

El análisis comparativo de las alternativas se realiza mediante el método de la puntuación ponderada. Dicho método consiste en escoger una serie de criterios de evaluación de cada alternativa, por medio de una escala de puntuación que gradúe el comportamiento de cada alternativa para cada criterio. El peso de cada criterio se determinó mediante una encuesta realizada a siete profesionales en ingeniería afines con obras portuarias y diseño estructural. Posteriormente, se obtuvo un valor para cada una de las alternativas propuestas multiplicando la puntuación del comportamiento por el peso de cada criterio. La ordenación se hará siguiendo las puntuaciones totales de cada criterio de tal modo que aquella que presente un valor más alto será la situada en el primer lugar.

Criterios de selección

Los criterios seleccionados para evaluar la viabilidad de cada alternativa son los siguientes:

- Costo
- Proceso constructivo: evalúa la complejidad y eficiencia del método constructivo propuesto para cada alternativa

- Inspección y mantenimiento: este punto califica la propuesta considerando la complejidad de realizar los trabajos de inspección y mantenimiento.
- Punto de vista geotécnico: el diseño de las cimentaciones es un punto crítico de este proyecto, pues al no poseer información certera sobre los suelos y estratos del emplazamiento del proyecto, se califica cada propuesta desde el punto de vista de cuán complicado es reajustar el diseño preliminar a lo encontrado realmente en campo, y a la eficiencia de cada estructura al transmitir las cargas a las cimentaciones.

Asignación de Pesos

Con la intención de otorgar a cada uno de los criterios la importancia relativa que tiene en relación con los demás criterios, se realizó una encuesta, tal y como se comentó anteriormente, y se ha repartido una puntuación total de 100% estableciéndose una proporción de la siguiente manera:

| CUADRO 45. PESOS DE CALIFICACIÓN PARA LOS PUNTOS DE COMPARACIÓN | |
|--|-----|
| Costo | 40% |
| Proceso constructivo | 25% |
| Punto de vista geotécnico | 20% |
| Inspección y mantenimiento | 15% |

Elaborado con Microsoft Word

Análisis de alternativas

Se aprecia que los criterios de selección de las alternativas corresponden a los mismos puntos con que en la sección de Resultados se describió cada una de las propuestas. Con base en dicha información, se presenta el siguiente cuadro comparativo que va a permitir calificar cada una de las alternativas:

| CUADRO 46. CUADRO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS | | |
|--|--|--|
| Criterio | Alternativa No.1 | Alternativa No.2 |
| Costo | \$ 426,925.04 | \$ 409,410.86 |
| Proceso Constructivo | Montaje de un taller en tierra para el ensamblaje de la superestructura del duque. | Alquiler de equipo de hınca |
| | Se requiere utilizar herramientas acuáticas | Construcción de formaleta especial |
| | Se necesita personal especializado en buceo | Chorrea de concreto desde el San Lucas II y bomba estacionaria |
| | Se requiere de una barcaza o el Tambor II para izar los segmentos de estructura y darles su colocación final | La resistencia del terreno puede correlacionarse con la penetración y el número de golpes |
| | Alquiler de equipo de hincado y grúa | Problemas con la mezcla de concreto debido a altas temperaturas, viento y humedad. La chorrea debe realizarse en horario nocturno. |
| | Pruebas de ultrasonido a las soldaduras | |
| | Requiere obligatoriamente prueba de carga en pilotes | |
| | Alineación e hincado preciso de pilotes con el fin de colocar adecuadamente los segmentos superiores | |
| Punto de vista geotécnico | Profundidad de hincado: 34m (4 pilotes) | Profundidad de hincado: 16m (7 pilotes), 23m (1 pilote) |
| | Problemas: hundimiento de pilotes, extracción de pilotes y rotura horizontal del terreno | Problemas: hundimiento, extracción del pilote y rotura horizontal del terreno |
| Facilidad de inspección y mantenimiento | Inspección visual con buzo | Mediciones indirectas por medio de pruebas de potencial |
| | Cambio de ánodos de sacrificio | Cambio de ánodos de sacrificio |
| | Pintura | Pintura |
| | Cambio de defensa y almohadillas del panel | Cambio de defensa y almohadillas del panel |

Elaborado con Microsoft Word

Se muestra a continuación la calificación de cada criterio para las alternativas:

| CUADRO 47. CALIFICACIÓN DE PROPUESTAS POR CRITERIO | | |
|---|----------------------|----------------------|
| Criterio | Alternativa 1 | Alternativa 2 |
| Costo | 83 | 92 |
| Proceso Constructivo | 69 | 70 |
| Punto de vista geotécnico | 64 | 89 |
| Facilidad de inspección y mantenimiento | 58 | 77 |

Elaborado con Microsoft Word

Multiplicando cada uno de los valores por cada uno de los pesos acordados para cada criterio, se obtiene la puntuación total de cada alternativa:

| CUADRO 48. CALIFICACIÓN DE TOTAL DE ALTERNATIVAS | | |
|---|----------------------|----------------------|
| Criterio | Alternativa 1 | Alternativa 2 |
| Costos | 33.20 | 36.80 |
| Proceso Constructivo | 17.25 | 17.50 |
| Punto de vista geotécnico | 12.80 | 17.80 |
| Facilidad de inspección y mantenimiento | 8.7 | 11.55 |
| TOTAL | 72 | 84 |

Elaborado con Microsoft Word

Con base en el cuadro anterior se determina que la alternativa más factible desde el punto de vista técnico y económico de los criterios evaluados es la Propuesta No.2. Fue entonces a esta alternativa a la cual se le realizó un diseño más completo, no pudiendo ser definitivo debido a la incertidumbre con la información geotécnica del emplazamiento. Los planos constructivos, las

especificaciones técnicas y el plan de inspección y mantenimiento de esta alternativa se presentan en los Apéndices No.1, No.2 y No.3 respectivamente.

En el Apéndice No.2 se incluyen las especificaciones técnicas generales del proyecto. Se encuentran, entre ellas, la calidad de materiales a utilizar en cuanto al concreto, el acero de refuerzo y el acero estructural. Se incluye, además, especificaciones en cuanto al proceso constructivo y los equipos a emplear.

Como ya se comentó, el deterioro actual de los duques se debe a la inexistencia de un mantenimiento de las estructuras. Un mantenimiento adecuado empieza por una inspección regular y repetida que permita, con el transcurso del tiempo, evaluar apropiadamente el estado de las facilidades en un momento dado y poder así predecir daños a futuro. De esta manera podrán tomarse contramedidas (reparar, renovar) oportunas para los daños previsibles. Un correcto plan de inspección ejecutado en un momento oportuno permitirá que la estructura supere su vida útil. Se propone entonces un plan de inspección y conservación (Apéndice No.3) para la propuesta seleccionada con base en las recomendaciones dadas por los Ing. Mitsuyasu Iwanami (especialista japonés en facilidades portuarias), Ing. Mario Loría (especialista en puentes) y normas estadounidenses. En este se presentan las posibles causas de deterioro que pueden afrontar las estructuras, un cronograma para inspecciones primarias y detalladas, una lista de chequeo guía para realizar las inspecciones y posibles soluciones para los problemas de deterioro que se puedan presentar. En el plan se incluye también los requisitos que se deben cumplir al presentar un informe de inspección, además de métodos y equipos apropiados para evaluar el estado de conservación de los distintos componentes estructurales. Si se quiere que la estructura cumpla satisfactoriamente desde el punto de vista de servicio y de resistencia es indispensable que la administración de la terminal tome en cuenta las recomendaciones dadas en dicho plan.

Conclusiones y Recomendaciones

1. Las facilidades de atraque actuales de Playa Naranjo no reúnen las condiciones mínimas para brindar un servicio seguro y funcional ni a los transbordadores ni a los usuarios.
2. El deterioro de los duques de alba ha sometido a la rampa de acceso a cargas axiales para las cuales no fue diseñada.
3. Los duques de alba actuales únicamente cumplen funciones de amarre, su objetivo principal que era funcionar como estructuras de atraque ya no se cumple debido al deterioro de los mismos.
4. El proyecto propuesto obtuvo un IRE de 7.16, lo cual lo clasifica como un proyecto de repercusión económica media.
5. El proyecto obtuvo un ISA de 3, lo cual lo categoriza como uno sin repercusión social y ambiental significativa.
6. La vida útil de las estructuras propuestas es de 25 años.
7. La acción medioambiental dominante de diseño es el viento.
8. Los duques de alba fueron diseñados para una embarcación con las siguientes características:
 - Eslora: 62.7 m
 - Manga: 12m
 - Calado: 2.80m
 - Tonelaje de Registro Bruto: 1058 ton
9. Debido a la incertidumbre en la información geotécnica del emplazamiento, el diseño de las cimentaciones debe considerarse como preliminar y no definitivo.
10. Las protecciones que utilizan las propuestas para afrontar el ambiente corrosivo son las siguientes:
 - Acero marino A690
 - Sobre espesor de 7.5mm (zona por encima del nivel de marea baja -1m) y 5mm (zona del nivel de marea baja -1m hasta el lecho marino)
 - Pintura anticorrosiva
 - Concreto con una resistencia $f'c$ de 350 kg/cm², según disposiciones del ACI 318S-08.
11. Las dos propuestas consideran la construcción de dos duques de alba exactamente iguales colocados cada uno a 1/3 y 2/3, respectivamente, de la eslora del ferry de diseño.
12. Los duques de alba propuestos cumplen funciones de atraque y de amarre.
13. El costo de la Alternativa No.1 es de \$426.925,00.
14. El costo de la Alternativa No.2 es de \$409.410,00.
15. Con base en un análisis técnico económico se determinó que la Propuesta No.2 es la más factible.
16. Se recomienda realizar un estudio de suelos o pruebas de carga a pilotes con el fin de conocer la resistencia real del terreno.
17. Se recomienda poner en práctica el plan de inspección y mantenimiento propuesto para que los duques de alba cumplan satisfactoriamente su vida útil de diseño.

18. Se recomienda que el diseño de la mezcla de concreto se realice siguiendo las disposiciones del ACI 318S-08 en sus capítulos 3 y 4 para estructuras con clase de exposición C2 (ambientes severamente corrosivos) y el ACI 305.
19. Se recomienda que un especialista en materiales diseñe las protecciones catódicas y el tratamiento de pintura anticorrosiva.
20. Se recomienda colocar defensas sobre el marco de izaje de manera que sean estas las que reciban la embarcación y no la rampa de acceso.
21. Se recomienda elaborar un protocolo de atraque que establezca cuáles son las maniobras de atraque adecuadas para la correcta operación de la terminal.

Apéndices

La siguiente lista comprende los apéndices complementarios al presente proyecto:

APÉNDICE No.1:

Esquema preliminar de la Propuesta No.1
Planos constructivos de la Propuesta No.2

APÉNDICE No.2:

Especificaciones técnicas del proyecto

APÉNDICE No.3:

Plan de inspección y mantenimiento

APÉNDICE No.4:

Memoria de cálculo de la Propuesta No.1

APÉNDICE No.5:

Memoria de cálculo de la Propuesta No.2

Anexos

La siguiente lista comprende los anexos complementarios al presente proyecto:

ANEXO No.1:

Estudios marítimos del Golfo de Nicoya y Playa Naranjo (Fuente: CCM, 2011)

ANEXO No.2:

Esfuerzos resultantes de las presiones del viento sobre los buques (Fuente ROM 3.1-99, 2000)

ANEXO No.3:

Esfuerzos resultantes de las presiones de la corriente sobre las embarcaciones (Fuente: ROM 3.1-99, 2000)

ANEXO No.4:

Esfuerzos resultantes de las fuerzas de fricción de la corriente sobre los buques (Fuente ROM 3.1-99, 2000)

ANEXO No.5:

Esfuerzos resultantes de las fuerzas debidas al oleaje sobre las embarcaciones (Fuente ROM 3.1-99, 2000)

ANEXO No.6:

Datos técnicos de la defensa SPC 600H FC10 (Fuente: Shibata, 2002)

ANEXO No.7:

Datos técnicos de la defensa HC 600H J1 (Fuente: Bridgestone, 1998)

ANEXO No.8:

Batimetrías de Playa Naranjo (Fuente: CCM, 2011)

ANEXO No.9:

Defensas comerciales (Fuente: Shibata, 2002)

Referencias Bibliográficas

- AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1996. **STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGES**. Estados Unidos de Norteamérica. 500p.
- ACI. American Concrete Institute. 2008. **REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL ACI 318S-08**. Estados Unidos de Norteamérica. 518p.
- AISC. American Institute of Steel Construction. 1999. **MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION: LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN**. Estados Unidos de Norteamérica. 1993p.
- Alfaro Chavarría, H. 2009. **ESTUDIO DE DINÁMICA LITORAL DE PLAYA PIÑUELA EN OSA, COSTA RICA, PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PUERTO MIXTO**. España: Universidad de Cantabria.
- Alfaro Chavarría, Henry. 2011. **PROPUESTA PARA MEDIR LA PROTECCIÓN CATÓDICA DE LA ESTRUCTURA DE ATRAQUE DE PUERTO CALDERA**. MOPT.
- Bridgestone Corporation. 1998. **MARINE FENDER DESIGN MANUAL**. International Industrial Products Department.
- CSCR. 2002. **CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA**. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Consortio CCM. 2011. **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA ADMINISTRACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS TERMINALES DE LAS RUTAS DEL SERVICIO DE CABOTAJE MODALIDAD TRANSBORDADORES DEL GOLFO DE NICOYA: BARRIO EL CARMEN DE PUNTARENAS, PAQUERA Y PLAYA NARANJO**. Costa Rica. MOPT. 321p.
- Chaverri, Adrian. 2011. **MADERA – LRFD**. Material del curso Estructural Temporales. Escuela de Ingeniería en Construcción. TEC.
- Dirección de Infraestructura. División Marítimo Portuaria, MOPT. 2007. **INFORME TERMINALES DE TRANSBORDADORES DEL GOLFO DE NICOYA**. Costa Rica. 35p.
- Dirección de Infraestructura. División Marítimo Portuaria, MOPT. 2009. **INFORME DEL ESTADO DE LAS TERMINALES DEL GOLFO DE NICOYA**. Costa Rica. 18p.
- Harou Yoneyama. **FENDER DESIGN FOR VESSELS**. Geotechnical and Structural Engineering Department Port and Airport Research Institute (PARI). Japan. PowerPoint Presentation.
- Herrejón de la Torre, L. 1979. **ESTRUCTURAS MARÍTIMAS**. México: Editorial LIMUSA. 125p.
- Iturralde, M. 2004. **SCIENTIFIC REPORT OF FIELD WORKSHOP TO THE “NICOYA COMPLEX” IN COSTA RICA**. Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología (UCR).
- Kamphuis, J. William. 2000. **INTRODUCTION TO COASTAL ENGINEERING AND**

- MANAGEMENT.** Vol 10. Estados Unidos. 438p.
- Loría, Mario. 2010. **DETERIORO Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE PUENTES.** Material de Curso Procesos Constructivos. Escuela de Ingeniería en Construcción. TEC.
- Macdonel, G et al. 1999. **INGENIERÍA MARÍTIMA Y PORTUARIA.** UNAM. DF, México.
- Maritime International Inc. 2000. **MANUAL DE DISEÑO.**
- Mitsuyasu Iwanami. 2009. **ESTRATEGIA PARA EL MANTENIMIENTO DE FACILIDADES PORTUARIAS.** Port and Airport Research Institute. PowerPoint Presentation.
- NFEC. Naval Facilities Engineering Command. **SPECIALIZED UNDERWATER WATERFRONT FACILITIES INSPECTIONS.** 1987. United States Navy
- PARI. Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. 2009. **TECHNICAL STANDARDS AND COMMENTARIES OF PORT AND HARBOUR FACILITIES IN JAPAN.** Japan. 998p.
- Puertos del Estado. 2008. **GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS.** Madrid: Ministerio de Fomento. 351p.
- Recomendaciones para Obras Marítimas 3.1-99. 2000. **PROYECTO DE LA CONFIGURACION MARITIMA DE LOS PUERTOS; CANALES DE ACCESO Y AREAS DE FLOTACION.** Puertos del Estado. Madrid: Ministerio de Fomento. Parte 4. 435p.
- Recomendaciones para Obras Marítimas 0.0-01. 2001. **PROCEDIMIENTO GENERAL CON BASES DE CÁLCULO PARA EL PROYECTO EN LAS OBRAS PORTUARIAS Y MARÍTIMAS.** Puertos del Estado. Madrid: Ministerio de Fomento. 220p.
- Recomendaciones para Obras Marítimas 0.2-90. 1992. **RECOMENDACIÓN SOBRE LAS ACCIONES AL PROYECTAR OBRA MARÍTIMA Y O PORTUARIA.** Puertos del Estado. Madrid: Ministerio de Fomento. 272p.
- Recomendaciones para Obras Marítimas 2.0-08. 2006. **RECOMENDACIONES SOBRE MUELLES U OTRAS OBRAS DE ATRAQUE Y AMARRE.** Puertos del Estado. Madrid: Ministerio de Fomento. Parte 2. 48p.
- Recomendaciones para Obras Marítimas 1.0-09. 1999. **RECOMENDACIONES DEL DISEÑO Y LA EJECUCIÓN DE OBRAS DE ABRIGO.** Puertos del Estado. Madrid: Ministerio de Fomento. Parte 1. 42p.
- Recomendaciones para Obras Marítimas 0.3-91. 1999. **RECOMENDACIÓN PARA OLEAJE Y ATLAS DE CLIMA MARÍTIMO EN LITORAL ESPAÑOL.** Puertos del Estado. Madrid: Ministerio de Fomento. Parte 1. 16p.
- SHIBATA Industrial. 2002. CO.LTD. **MARINE PRODUCTS.** Manual de productos y diseño de defensas. 59p.
- US Corps of Engineers. 2008. **COASTAL ENGINEERING MANUAL.** Estados Unidos.
- Consultora Marítima Azul S.A. 2006. **MEMORIA DE CÁLCULO DE LA PRIMERA ETAPA DEL ATRACADERO TURÍSTICO BAHÍA COCODRILO, GOLFITO.** Costa Rica.
- Eco Construcciones RM & Asociados S.A. **PROYECTO DE DISEÑO DE REHABILITACIÓN DE LA TERMINAL DE TRANSBORDADORES DE PUNTARENAS.** Costa Rica. MOPT.
- García Corrales, H. 1992. **MEMORIA DE CÁLCULO DE LA TERMINAL DE CABOTAJE DE PAQUERA, PUNTARENAS.** Costa Rica.

Royal Haskoning. 2004. **ESTUDIO DE SUELOS DEL NUEVO MUELLE GRANELERO DE PUERTO CALDERA**. Costa Rica.

BCCR. Banco Central de Costa Rica. <http://www.bbcir.cr>. En línea: 4/03/11

CARENA. En línea: 18/02/11.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Carena>

Consejo Municipal del Distrito de Cóbano. **GENERALIDADES DEL CANTÓN**.
<http://www.municobano.go.cr/generalidades.html>. En línea: 20/01/2011

Escuela Náutica Neptuno. 2004. **CURSO DE PATRÓN DE NAVEGACIÓN BÁSICA, CAPÍTULO 1**.
<http://www.mailxmail.com/curso-patron-navegacion-basica/nomenclatura-nautica-dimensiones>. En línea: 21/07/2011

Trelleborg Marine Systems. NautiExpo. <http://www.nauticexpo.es/prod/trelleborg-marine-systems/defensas-de-muelles-br-de-movimiento-en-paralelo-22887-200589.html>. En línea: 25/01/11.

Salas Granados, M. 2011. **CAPITÁN DEL FERRY SAN LUCAS II**. Comunicación personal.