UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILIS TOGA. 1948

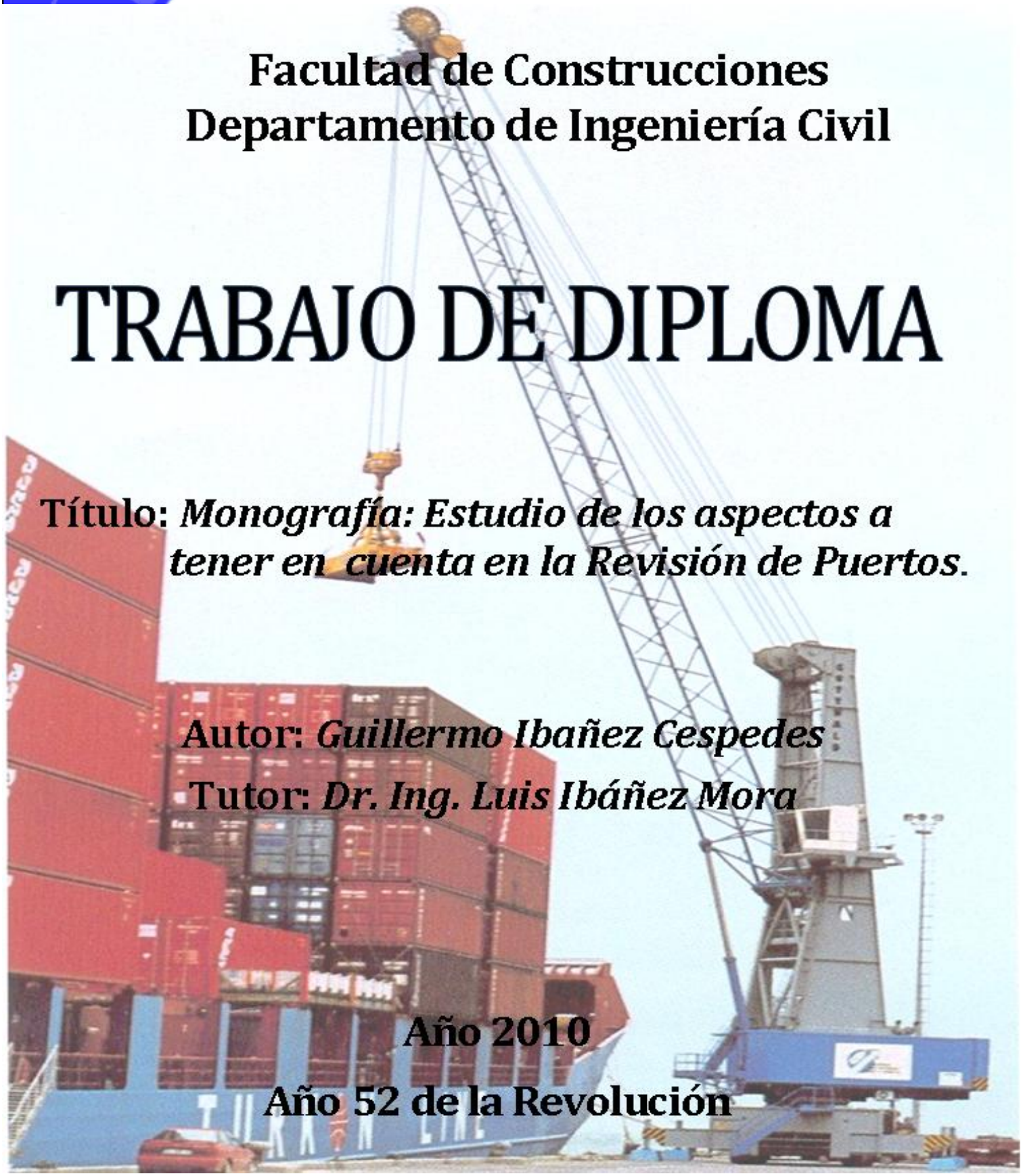
Facultad de Construcciones
Departamento de Ingeniería Civil

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: *Monografía: Estudio de los aspectos a tener en cuenta en la Revisión de Puertos.*

Autor: *Guillermo Ibañez Cespedes*

Tutor: *Dr. Ing. Luis Ibáñez Mora*



Año 2010

Año 52 de la Revolución

Índice

Introducción I

Capítulo 1. Estado del Arte 1

1.1 Resumen 1

1.2 Introducción 1

1.3 Clasificación de los puertos 2

1.3.1 Muelles de gravedad 2

1.3.2 Muelles y pantalanes de pilotes 2

1.3.3 Muelles de pantallas 3

1.3.4 Muelles de recintos de tablestacas 4

1.4 Estudio del estado actual de los puertos en Cuba 5

1.5 Estudio de las Normativas para el Diseño y Revisión de Puertos 8

1.5.1 Aspectos a tener en cuenta en el diseño de puertos 9

1.5.1.1 Clima Marítimo y Meteorología 10

1.5.1.2 Topografía y Batimetría 10

1.5.1.3 Geología y Geotecnia 10

1.5.1.4 Sismicidad 11

1.5.2 Efecto de carga producido por la grúa 11

1.6 Estudio de las cargas producidas por las grúas en puertos. (Por la Norma Española del año 2002, *ROM0.2-90*: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias). 12

1.7 Efecto que produce el buque contra el muelle (Libro: Cargas de edificaciones y obras de ingenierías, del Dr.Ing. Francisco A. Medina Torri). 18

1.8 Proceso general de cálculo 29

1.9 Estados Límites 29

1.10 Criterios de combinación de acciones e hipótesis de carga 32

1.10.1 Valores de cálculo de las acciones 32

1.10.2 Combinación de acciones 33

1.11 Conclusiones Parciales 34

Capítulo 2: Metodología para la Revisión de Puertos. Análisis de las cargas horizontales 35

2.1 Resumen 35

2.2 Introducción 35

2.3 Metodología para la revisión de puertos 35

2.4 Estudio de los proyectos realizados 39

2.5 Revisión de obras estructurales. Edificaciones 43

2.6 Determinación del estado actual de una edificación. Aspectos a tener en cuenta en la revisión de edificios 46

2.7 Revisiones de edificios 47

2.8 Metodología propuesta para la revisión de puertos 49

2.8.1 Efecto de carga producido por la grúa 49

2.8.2 Efecto que produce el buque hacia el muelle producto del viento 49

2.9 Metodología de pasos para la revisión de puertos 56

2.10 Conclusiones Parciales 62

Capítulo 3 Aplicación de la metodología a un problema 63

3.1 Resumen 63

3.2 Introducción 63

3.3 Ejemplo Numérico. Efecto del Buque según la Norma Española 63

3.3.1 Ejemplo numérico del cálculo del efecto del buque por la Norma Cubana 68

3.4 Ejemplo Numérico. Efecto del equipo de izaje 72

3. 5 Conclusiones Parciales 85

Capítulo 4. Confección de la Monografía 86

4.1 Resumen 86

4.2 Introducción 86

4.3 Estudio de las cargas producidas por las grúas en los puertos 86

4.3.1 Cálculo de la fuerza vertical (Efecto que produce la grúa hacia el muelle) 89

4.4 Efecto que produce el buque hacia el muelle producto de los agentes medioambientales. .92

4.4.1 Cálculo de la fuerza horizontal (Efecto producido por el buque hacia el muelle) 95

4.5 Conclusiones Parciales.....98

Conclusiones. 99

Recomendaciones. 100

Bibliografía.....101

Anexos.....105

PENSAMIENTO

"... hacer porque,- en la campaña suprema a que me pongo hoy en camino,- no me faltes la pequeñez porque suelen fallar las obras más seguras. Otras, las hace fallar la cobardía o la infancia y se convierte en triunfo la derrota"

José Martí

AGRADECIMIENTOS

Mi especial agradecimiento a las personas que hicieron posible la realización de este trabajo, especialmente a mis padres por su gran preocupación y ánimo que recibo constantemente de ellos, a mi hermana, a mi abuelo, a mi familia de la cual estoy muy orgulloso, a mi novia por su gran apoyo, a mis amigos y amigas de quienes siempre he aprendido algo nuevo, a mis compañeros de aula por compartir estos cinco años de estudio, a quienes me respetaron, apoyaron, aconsejaron y compartí una gran parte de mi juventud en los momentos malos y buenos.

A TODOS ELLOS GRACIAS

DEDICATORIA

La realización de este trabajo de diploma se lo dedico a todos aquellos que me quieren.

A mis padres: Por ser las personas más importantes y especiales en mi vida, a quienes les agradezco de todo corazón las gracias de tener unos padres como ellos.

A mi hermana: Por ser la persona que siempre me ayuda, que me da consejos para seguir adelante.

A mi abuelo: Por ser unos de sus nietos más favoritos.

A toda mi familia: Quienes de una forma u otra aportaron su apoyo para la realización de este trabajo.

A mi tutor: Por su gran dedicación y apoyo, de quien aprendí muchísimo en este tiempo para terminar con éxito este trabajo.

A mis amigos y amigos: Por su colaboración.

RESUMEN

Resumen

El presente trabajo se ha desarrollado con el objetivo de brindar un documento de ayuda para la revisión de las estructuras portuarias en su evaluación de la capacidad de carga resistente para el empleo de la transportación de mayores elementos, mercancías con la utilización de grandes buques de mayor tonelaje y dimensión, y el uso de grandes equipos de izaje o equipo de manipulación (grúa) para la carga y descarga de las mercancías, las cuales son colocadas temporalmente en el muelle. Por esta razón se elaboró un estudio de los efectos que provocan los buques produciendo un impacto como una carga horizontal contra el muelle cuando atraca y se encuentra amarrado y la grúa hacia el muelle causando la carga vertical respectivamente tras la ejecución de su función y por la posición en donde se encuentra ubicada.

Para ello se realizó una búsqueda biográfica relacionada con las diferentes normas de diseño y revisión de puertos que se utilizan a nivel mundial, el estudio del estado actual de los diferentes puertos en nuestro país donde fueron ejecutadas pruebas de carga para la evaluación de la capacidad resistente en los cuales no se incluía el efecto de la carga horizontal provocada por el impacto del buque siendo este un aspecto de gran importancia, la elaboración de un resumen de los aspectos a tener en cuenta en la revisión de otras obras estructurales y una propuesta metodológica para la revisión de estructuras portuarias haciendo énfasis en los efectos que provoca la grúa, en el impacto del buque hacia el muelle y la aplicación de la metodología a un problema real para la determinación de la fuerza horizontal y vertical ejercida por el buque y la grúa.

INTRODUCCIÓN

Introducción

En nuestro país ha sido siempre una prioridad para el sector de la construcción los avances tecnológicos en obras marítimas donde es necesario elevar sus capacidades, eficiencias y calidad en las mismas, por esta razón se hace necesario la revisión de sus estructuras para aumentar la capacidad resistente con la demanda que existe para los servicios portuarios con la utilización de nuevas técnicas y ciencias en la modelación estructural de los diferentes sistemas portuarios.

Por las necesidades que existen desde años atrás es necesario realizar una monografía para dar solución a las capacidades soportantes de los puertos, de acuerdo a las exigencias de buques de mayor tonelaje, peso de las cargas y la ejecución del izaje de las mismas con nuevos equipos para los cuales no fueron diseñados originalmente los puertos.

Hoy en día es una necesidad la utilización de puertos para el trasiego de mercancías, esto conlleva que muchos de estos no están prediseñados para soportar grandes cargas que provienen de los buques y del equipo de izaje, por lo que es necesario la realización de transformaciones en los puertos estructuralmente con el estudio de estos efectos que son provocados al mismo, obteniendo la creación de una monografía donde se recojan los aspectos a tener en cuenta en la revisión de puertos bajo la acción de estos elementos.

Planteamiento y definición del problema.

En relación con lo planteado con anterioridad, queda definido el planteamiento del problema, es decir, ***el objeto de estudio*** de la presente investigación consistente en el estudio de los aspectos a tener en cuenta en la revisión de la capacidad de carga de los puertos en Cuba, agrupando la documentación necesaria para dicho proceso.

¿Cuánto aportaría un documento único, que agrupe los aspectos a tener en cuenta en la revisión de estructuras portuarias, donde se incluya el efecto del buque, los equipos de izaje, en cuanto a la eficiencia y racionalidad en los estudios de la capacidad resistente de puertos en Cuba?

Hipótesis.

La confección de una monografía que incluya los aspectos a evaluar en la revisión de los

puertos en Cuba, haciendo énfasis en los efectos que generan los equipos de izaje y los buques, permitirá a proyectistas y especialistas contar con una herramienta para la revisión de las estructuras portuarias.

Objetivos generales

Para el desarrollo de la investigación se consideró el siguiente objetivo general: *Elaborar una monografía sobre el análisis del efecto de las cargas actuantes en un puerto, tanto de los buques de carga, como de los equipos de izaje.*

Objetivos específicos

Para darle cumplimiento al objetivo general anterior se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar una búsqueda bibliográfica relacionada con las cargas actuantes en puertos.
2. Analizar el efecto de las solicitaciones que se generan por el cambio de los equipos de izaje y el tonelaje de los buques.
3. Elaborar una monografía para el análisis de los efectos que provocan los equipos de izaje y los buques en la revisión estructural de un puerto.

Tareas científicas a acometer

Para realizar la actual investigación se definen las siguientes etapas, las cuales se complementan entre sí.

Etapa I: Definición de la problemática

- Definición del tema y problema de estudio.
- Recopilación bibliográfica.
- Formación de la base teórica general.
- Planteamiento de las hipótesis.
- Definición de los objetivos.
- Definición de tareas científicas.

Redacción de la introducción.

Etapa II: Revisión bibliográfica

Estudio, análisis y crítica de los últimos adelantos científicos relacionados con el tema.

- Colección de bibliografía preliminar, definición, aprobación del tema, diseño metodológico de la investigación.
- Estudio de bibliografía, actualización y estado actual de la temática.
- Estudio de la problemática de los puertos en Cuba.
- Estudio y crítica de los métodos para el diseño de puertos.
- Estudio del efecto del equipaje de izaje en el puerto.
- Aplicación de la modelación matemática en la solución de problemas.
- Redacción de la primera versión del Capítulo 1: “Estado del arte actual sobre los conocimientos de revisión de puertos”.
- Conclusión del Capítulo 1.

Se da cumplimiento al objetivo específico 1.

Etapa III: Estudio de las cargas actuantes en los puertos

- Estudio y análisis de las causas que provocan modificación en la carga de diseño en puertos.
- Evaluación de la metodología y expresiones utilizadas para determinar la carga actuante en puertos debido al efecto del equipo de izaje y del buque.
- Redacción del Capítulo II.

Se da cumplimiento al objetivo específico 2.

Etapa IV: Confección de la monografía

- Metodología para la revisión estructural de puertos.

- Definición de cada etapa del proceso de revisión.
- Procesamiento de datos.
- Aplicación de la metodología a la solución de problemas reales.
- Redacción de la primera versión del Capítulo 3: “Metodología para la revisión de puertos”.
- Conclusión del Capítulo 3.

Se da cumplimiento al objetivo específico 3.

Etapa V

- Redacción de la primera versión del Capítulo 4: Aplicaciones a un problema real estudiado. Aplicación de los resultados de los capítulos anteriores.
- Conclusión del Capítulo 4.

Redacción de la primera versión de las “Conclusiones y recomendaciones” del trabajo.

Análisis del contexto global de la tesis y redacción definitiva de la misma.

Novedad científica

El aspecto novedoso del trabajo se centra en: Se concentra en un solo documento toda la información obtenida de la realización de las modelaciones matemáticas, la aplicación de programas y las tendencias actuales para la revisión de las estructuras portuarias.

Estructura de la Tesis

La estructura de la tesis está relacionada directamente con la metodología de la investigación establecida y de un modo específico en el desarrollo particular de cada una de las etapas de la investigación. La misma se encuentra formada por una introducción general, cuatro capítulos, las conclusiones, recomendaciones y bibliografía, así como los anexos necesarios.

El orden y estructura lógica del trabajo se establece a continuación:

Síntesis

Introducción

Capítulo I: Estado del arte actual sobre los conocimientos de diseño de puertos.

En este capítulo se realiza el estudio bibliográfico y un análisis del estado del arte de la temática, lo que posibilita justificar el desarrollo de la investigación. En el mismo se exponen los antecedentes y las tendencias actuales del tema del diseño de los puertos con un estudio de las especificaciones para el diseño. Además en este capítulo serán caracterizadas las instalaciones portuarias en Cuba, haciéndose un análisis crítico de la bibliografía al respecto y destacándose los fundamentos teóricos principales.

Capítulo II: Análisis de los sistemas de cargas actuantes.

En este capítulo se realiza el desarrollo de la metodología para el diseño de puertos con un análisis de las cargas actuantes. En el mismo se expone un análisis profundo del efecto de la carga móvil producida por los equipos de izaje (Trenes de carga) y de la carga horizontal producto de los buques.

Capítulo III: Comparación de modelos 2D y 3D.

En este capítulo se refleja el trabajo realizado con la temática de la modelación matemática y la aplicación de programas de computación para modelar el comportamiento estructural de puertos. En él se establece el enfoque metodológico general para el estudio sistémico del comportamiento estructural a partir de la modelación de estructuras planas y espaciales Además se establecen la metodología y operatorias para la realización del proceso de caracterización del modelo, las recomendaciones para la realización de los ensayos in situ y demás aspectos a tener en cuenta en la revisión de los puertos. Finalmente se concibe y desarrolla la metodología de análisis que permite delimitar cual modelo es el que mejor describe la modelación estructural que se investiga.

Capítulo IV: Aplicación de los resultados de los capítulos anteriores a un muelle real.

En este capítulo se realiza una aplicación de los modelos formulados en el Capítulo III a una estructura portuaria real. Esta aplicación específica de las formulaciones establecidas se realiza con el objetivo de confirmar la validez, valor práctico y la veracidad de las formulaciones realizadas.

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

CAPÍTULO 1

Capítulo 1. Estado del Arte

1.1 Resumen

En este capítulo se realizó una búsqueda biográfica relacionada con las diferentes normas de diseño y revisión de puertos que se utilizan a nivel mundial, y sobre el estudio del estado actual de los diferentes puertos en nuestro país, especialmente lo referente a los efectos que producen el quipo de izaje (grúa) y el buque cuando realiza sus acciones en el muelle.

Para ello fueron consultados una gran cantidad de libros, artículos de revistas y una amplia revisión de trabajos en Internet, con el objetivo de identificar las tendencias actuales relacionadas con la revisión de los puertos en Cuba y a nivel mundial.

1.2 Introducción

El campo de aplicación de la Ingeniería de Costas y Puertos incluye el diseño y construcción de muchos tipos de estructuras y de obras civiles, las cuales están dentro del perfil del ingeniero civil. En los últimos años se han realizado importantes puertos y otros tipos de obras costeras, con estudios más completos a través del uso de modelos, investigaciones del medio ambiente y del régimen natural del litoral, incluyendo trabajos de geotecnia, marina e implementación de nuevas tecnologías constructivas y materiales de construcción.

Debido a que las necesidades son muy amplias, y que por otro lado no es factible satisfacerlas completamente, se consideró oportuno la realización de este documento, eligiendo algunos temas fundamentales para el desarrollo de conocimientos y habilidades en dicha materia. En el mismo se incluyen los conceptos respecto al estudio del estado del arte de La Ingeniería de Puertos, proporcionando una guía para la aplicación de técnicas y métodos de cálculo, la revisión y diseño de infraestructuras marítimas. De esa manera se da respuesta a los aspectos o los requisitos a tener en cuenta en la revisión o el diseño de obras portuarias, profundizándose en los efectos, cargas o fuerzas que son provocado en la estructura o la instalación portuaria, a través del equipo de izaje (grúa) al realizar los trabajos de carga/descarga de mercancías y la transportación de los mismos, y los provocados por el buque cuando este realiza la acción de atraque, y cuando está amarrado. También se da a conocer el estado actual de los Proyectos de Revisión de diferentes puertos en Cuba y las soluciones técnicas que se obtuvieron para poder continuar realizando los trabajos de carga y descarga en los mismos.

1.3 Clasificación de los puertos

Actualmente existe una gran variedad de puertos construidos en correspondencia del tipo de explotación y de la forma del terreno natural. (Norma Española ROM0.2-90 y ROM 0.0 año 2002; Guillermo Macdonel M, Julio Pindter año 1999; Bai, *Y.,* Ayney, C., Huang, E., Maher, J., Parker, G., Song, R. and Wan& M. año 2001; CMPT año 1998).

Estos puertos se clasifican de diferentes formas estructurales y geométricamente como son:

1.3.1 Muelles de gravedad.

1.3.2 Muelles y pantalanes de pilotes.

1.3.3 Muelles de pantallas.

1.3.4 Muelles de recintos de tablestacas.

1.3.1 Muelles de gravedad

Los muelles de gravedad son estructuras de atraque que soportan el desnivel de tierras de trasdós a intradós fundamentalmente mediante el peso propio de su estructura.

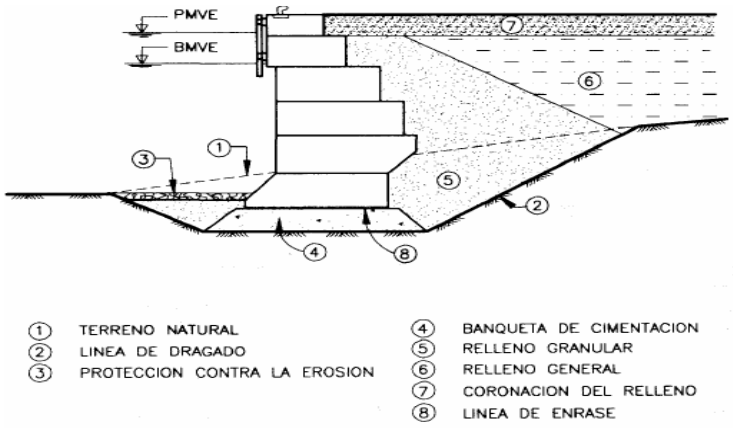


Figura 1.1 Muelles de gravedad.

1.3.2 Muelles y pantalanes de pilotes

La construcción de muelles apoyados sobre cimentaciones profundas es una práctica obligada en aquellos terrenos en los que el sustrato resistente está a una profundidad excesiva para construir muelles de gravedad. Pueden ser también de interés en terrenos de compacidad media, como alternativa a otras tipologías posibles.

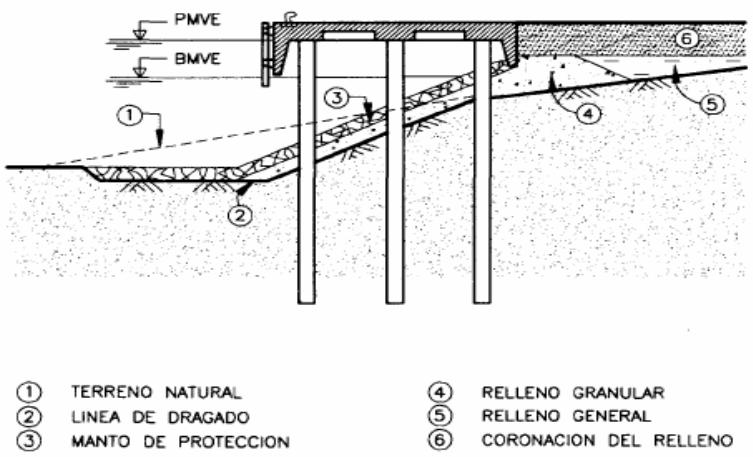


Figura 1.2 Muelles y pantalanes de pilotes.

1.3.3 Muelles de pantallas

La construcción de muelles de este tipo requiere la ejecución de las pantallas y su atirantado, así como las tareas de dragado y relleno necesarias para crear la geometría conveniente.

Con frecuencia las pantallas están formadas por tablestacas metálicas, aunque este elemento estructural puede estar formado también por una pared plana de hormigón moldeado «in situ» u otros procedimientos. Las pantallas de hormigón pueden construirse prácticamente en cualquier terreno. Ofrecen la ventaja de la posibilidad de empotramiento en terreno firme o roca (excavaciones con trépano o con hidrofresa), que es más difícil de conseguir con tablestacas metálicas hincadas.

El sistema de anclaje suele consistir en barras o cables de acero unidos debidamente a la pantalla y a una estructura trasera de anclaje que puede consistir en otra pantalla más corta o en un «muerto» de hormigón, como se indica en la figura, o en una placa vertical u horizontal enterrada. El muerto o la placa pueden estar simplemente apoyados en el terreno, o cimentados sobre pilotes que proporcionan mayor capacidad de reacción.

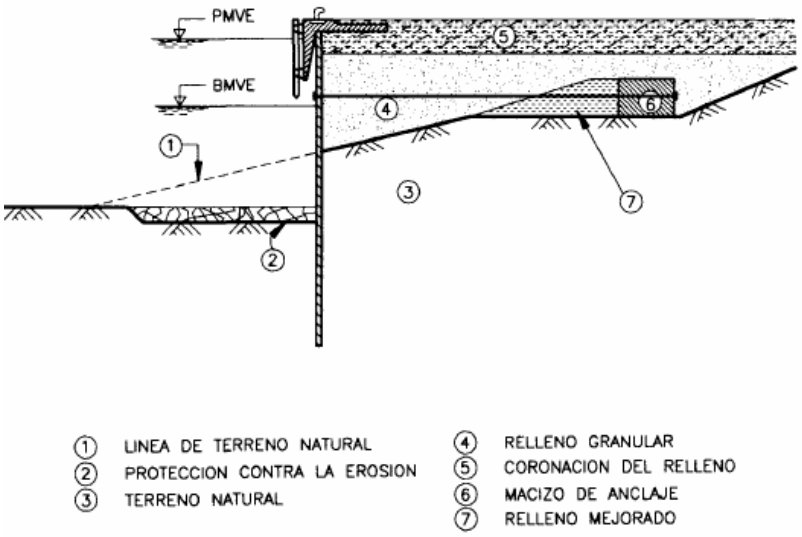


Figura 1.3 Muelles de pantallas.

1.3.4 Muelles de recintos de tablestacas

Los recintos de tablestacas se pueden construir, con formas circulares, de tablestacas planas, creando celdas independientes que después se unen en la parte delantera (y, eventualmente en la trasera) mediante arcos de tablestacas con formas especiales. También pueden construirse mediante celdas con diafragmas, de paredes transversales rectas y frontales curvos.

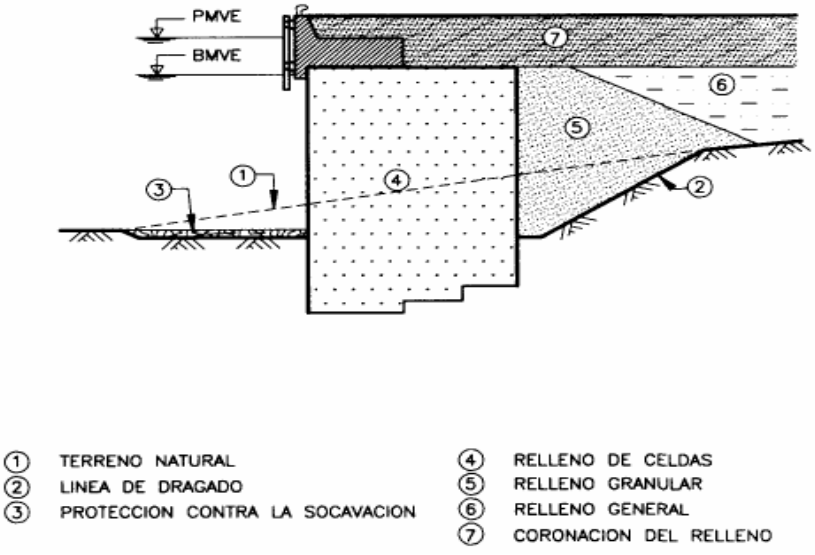


Figura 1.4 Muelles de recintos de tablestacas.

En Cuba los puertos más comunes según esta clasificación son los de Tablestaca y los de pilotes.

1.4 Estudio del estado actual de los puertos en Cuba

En los últimos años en el país se han realizado estudios para verificar la capacidad resistente de los puertos. A continuación se abordan los resultados de los proyectos de investigación donde se realiza un estudio profundo de las estructuras para determinar la capacidad resistente real de los mismos con la combinación de técnicas de instrumentación y modelación. En estos proyectos se realizan diferentes pruebas de carga a escala real evaluando su capacidad resistente, las respuestas de la estructura hacia esta carga y los efectos en la misma.

Proyecto de Estudio de la deformación lateral del atraque "Osvaldo Padrón" del Puerto del Mariel

En este proyecto lo que se determina es la deformación lateral de la viga de contención del atraque, lo que este servirá de base para el almacenamiento de carga (tuberías y otros insumos), apoyados sobre dispositivos creados a dicho efecto (Rack). Para ello se realizan modelación del comportamiento del atraque bajo la acción de dichas cargas y se comprobará la validez de dicho modelo con la realización de pruebas de carga a escala real. La problemática de este puerto es que el mismo fue construido en la década de los años 40 el cual fue explotado en el trasiego de productos a granel para un período de 10 a 15 años, la tipología estructural de este puerto es de tablestaca hincada.

En este muelle se realizó la modelación de la prueba de carga desarrollándose 2 etapas, una primera en la que se modeló el comportamiento de la tablestaca bajo la acción de las cargas permanentes (empuje de suelo y agua) y una segunda donde se evalúan las deformaciones bajo la acción de cargas externas (prueba de carga). Donde se conocía que la separación máxima de la carga al borde del muelle es de 3.00 metros, actuando como una carga uniformemente distribuida. Por esta razón se modela la carga como presión actuante en la superficie del muelle sobre la losa de hormigón. Después de realizadas todas estas modelaciones y con los resultados de la prueba de carga, se tomaron varias decisiones y conclusiones como: la no colocación de carga a menos de 30.00 metros del extremo del muelle debido al grado de deterioro, las deformaciones de la viga de cierre en todos los casos son pequeñas y ponen en peligro la utilización del muelle y se consideró que el muelle se puede explotar con cargas distribuidas hasta 3.8 T/m^2 y con la utilización de la grúa con una carga total de 100 Ton, bajando 25 Ton por cada apoyo.

Proyecto de Investigación. Cálculo de la cimentación de los tanques de almacenamiento. Puerto del Mariel

El objetivo de este proyecto es determinar los asentamientos que pueden ocurrir en la cimentación de los tanques de almacenamiento a colocar en el puerto del Mariel en la zona oeste sirviendo de base para el almacenamiento de diferentes materiales (Cemento, lodo, agua) como base de apoyo para las perforaciones en mar en la prospección y explotación de yacimientos de petróleo. Para ello se realiza la modelación del comportamiento de la cimentación de dichos tanques bajo la acción de las cargas externas y se comprobará la validez de dicho modelo con la realización de pruebas de carga a escala real. En la zona en tierra del puerto existe una compleja geología, con la presencia de estratos que buzan hacia el oeste, detectándose varias capas de suelos compresibles, rellenos y turba. Sobre los mismos existe una losa de hormigón armado de 22.00 cm, que contribuye a la distribución de cargas, aunque se aprecian zonas agrietadas, debido a la edad de la misma y el régimen de explotación del lugar. El tipo de estructura que tiene este muelle es de tablestaca hincada el cual fue construido en la década de los años 40 e inicialmente fue explotado en el trasiego de productos a granel para un período de de 10 a 15 años.

La problemática de este muelle es que debido a la años de explotación de esta zona del puerto, las sobrecargas a la que ha sido sometida (almacenamiento de productos a granel exportados e importados, chatarra, vehículos, etc.) se considera que los estratos de suelo se han consolidado y las posibles deformaciones que aparezcan producto de nuevas cargas, se debe a deformaciones en pequeños espesores de estratos que aún no se hallan consolidado. Realizándose 2 pruebas de cargas en las zonas de emplazamiento de los tanques. La prueba de carga # 1 que corresponde con la zona donde ubican los tanques de preparación de lodo y la prueba de carga # 2 en la zona donde su ubicarán los tanques de almacenamiento de lodo. Por las dimensiones de los tanques, y las características geológicas se decide medir la deformación vertical en 2 puntos de la plataforma de carga, determinado además el giro de la plataforma. Luego de realizar estas pruebas de cargas se obtuvo como resultado: la losa de hormigón que era de 22.00 cm va a ser de 40.00 cm de espesor en una parte del muelle lo que contribuye a la distribución de la carga en una mayor área, en la zona # 1 los asentamientos son menores de 1.00 cm, los giros de las estructuras sobre esta zona son menores a los permisibles, mientras que en la zona # 2 no deben colocarse los tanques de almacenamiento y en la zona de atraque se deben colocar los tanques a una separación de 3 metros del borde del muelle.

Estudio de la capacidad de carga del atraque No. 8 del Puerto de Mariel para la manipulación de cargas mayores a 350 T

En este proyecto se pretende realizar un estudio de la capacidad resistente de las cimentaciones, con el objetivo de evaluar la capacidad resistente del muelle, partiendo de los datos y las informaciones ya utilizada en proyectos anteriores en dicho puerto como es el informe Ingeniero Geológico del lugar, carga de diseño o esquema de análisis de las solicitaciones actuantes, Carga horizontal de Diseño (Debido a la acción de los buques), entre otros aspectos. Se procede a la determinación de la carga actuante a nivel de pilote considerando las posibles posiciones de la carga sobre el muelle. En este trabajo se desarrollarán y evaluarán otras tareas como son: Modelación de la carga actuante a nivel de cada pilote (Influencia de la rigidez del cabezal, espaciamientos y acción de las cargas móviles). Modelación de la carga actuante a nivel de cada pilote (Influencia de la rigidez del cabezal, espaciamientos y acción de las cargas móviles). Cálculo de la capacidad resistente del pilote aislado (carga de rotura y de carga de trabajo), Cálculo de la capacidad de carga del pilote bajo la acción de cargas horizontales, Cálculo de los asentamientos de la cimentación, Cálculo de la capacidad estructural de las vigas, Cálculo de la capacidad estructural de las losas, entre otros aspectos.

Luego de realizar todas estas pruebas se obtuvieron varios resultados y consideraciones, donde se logró cubrir todos los requerimientos establecidos en la tarea técnica presentada al lograr evaluar los posibilidades de explotación del atraque 8 del muelle del Mariel bajo los sistemas de cargas producidos por la manipulación de bultos con peso máximo de 315 ton, que en conjunto con el equipo de transporte trasmiten al muelle 375 ton, se debe brindar especial atención al momento de descarga sobre la zona, pues si se produce una mala manipulación de la misma que genere un impacto, la carga se puede incrementar hasta 1.5 veces, poniendo en peligro la estabilidad del muelle, en lo referente a los pilotes se demostró que los más esforzados a carga trabajan a 48.5 ton, inferior a los 60.2 ton establecidas como capacidad de carga de trabajo a partir de los análisis realizados anteriormente. En lo referente a la carga horizontal ya se había establecido que por eje los pilotes pueden soportar 90 ton, que son superiores a la carga de diseño de los bolardos, para el buque considerado durante los cálculos del muelle, por lo que siempre serían menos critico los pilotes de este último elemento, conociéndose además que el buque que transportará el inferior en tonelaje y dimensiones al buque de diseño, por lo que el efecto de la carga horizontal durante el atraque no será crítica para los bolardos ni para los pilotes.

En ninguno de estos proyectos, por sus características se evaluó la carga horizontal producida por el buque.

A manera de resumen se expone la metodología propuesta en dichos proyectos de investigación.

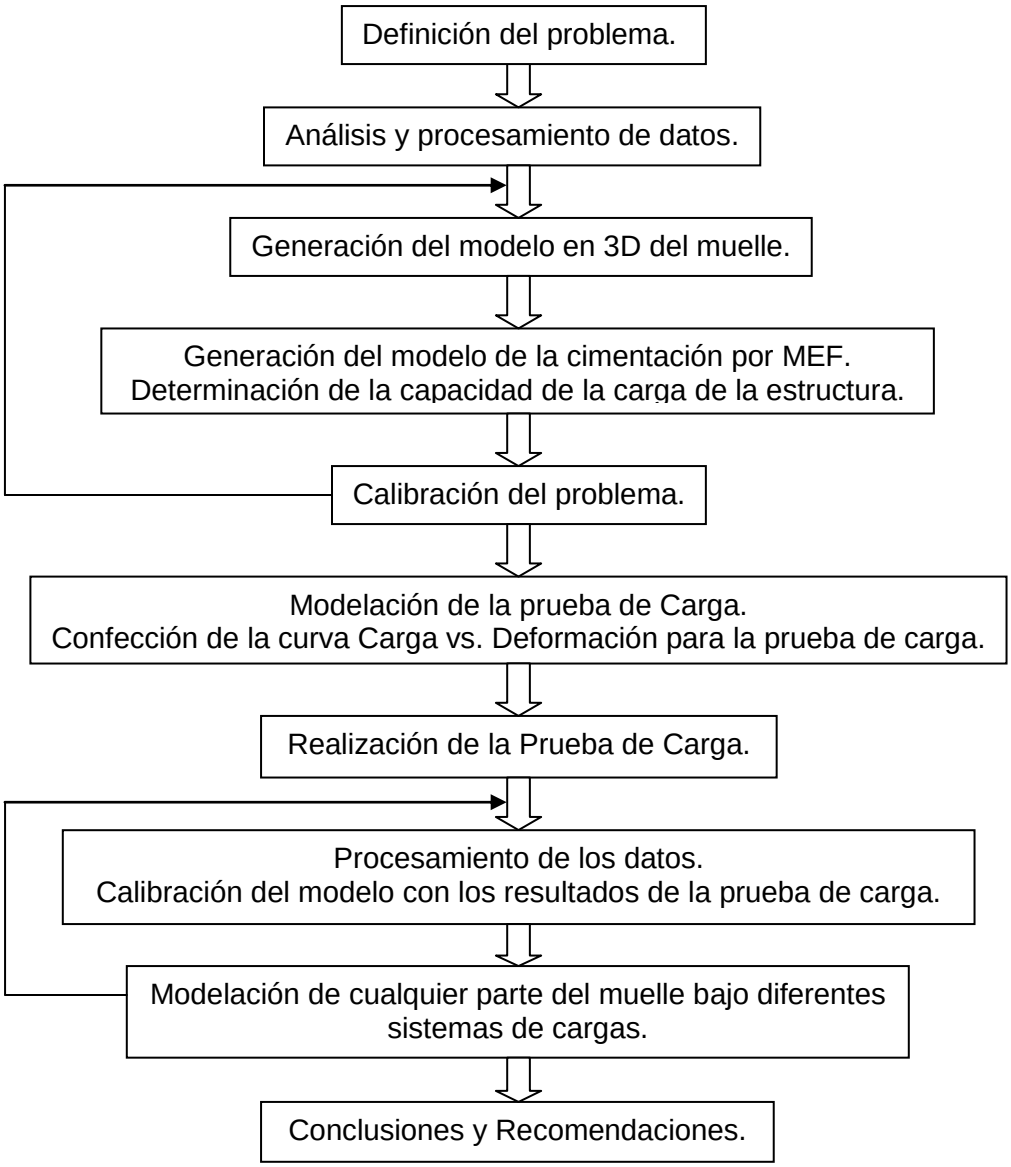


Figura 1.5 Metodología para la revisión de puertos

1.5 Estudio de las Normativas para el Diseño y Revisión de Puertos

Toda obra marítima se construye para cumplir unas determinadas funciones, permitiendo o facilitando unas actividades económicas, repercutiendo socialmente e interfiriendo con el medio ambiente. Esta obra debe ser fiable, funcional y operativa durante el tiempo en que vaya a

permanecer en servicio. A lo largo de su vida, la obra pasa por diferentes estados de proyecto, estructurales, formales, de uso y explotación dependiendo de la variabilidad temporal y espacial de los factores de proyecto. Por diversas razones o causas, la obra puede perder, progresivamente o de manera súbita, de forma temporal o definitiva, parcial o totalmente sus propiedades resistentes o estructurales (seguridad), estructurales y formales (servicio) y de uso y explotación (explotación) por mecanismos descritos en modos de fallo y de parada operativa.

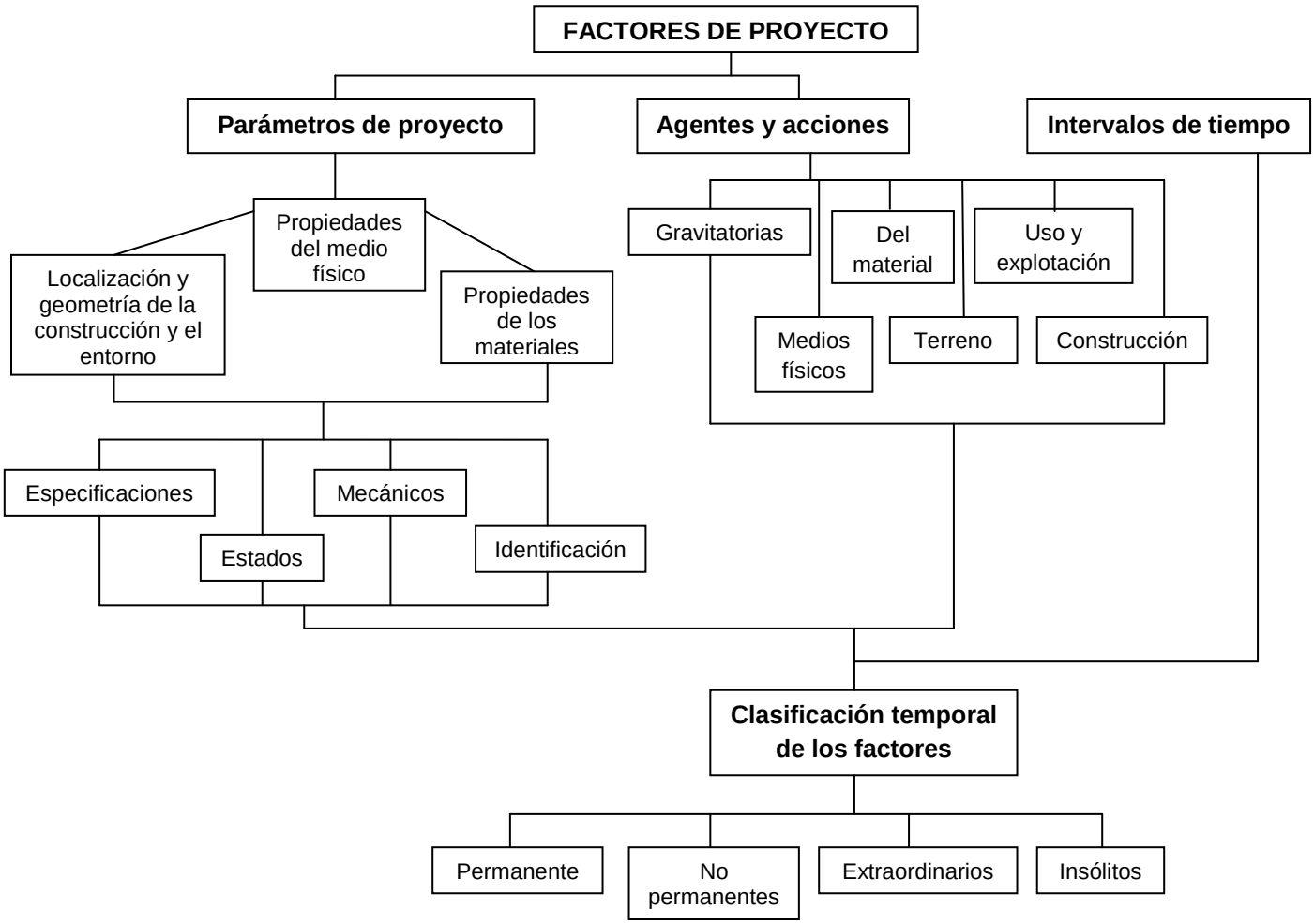


Figura 1.6. Factores de Proyectos según ROM 00- Capitulo 2

1.5.1 Aspectos a tener en cuenta en el diseño de puertos

A continuación se muestran algunos de los requisitos de gran utilidad a tener en cuenta para la revisión de estructuras portuarias especialmente los efectos producidos por la grúa y el buque (Normas Españolas ROM 0.5-94, ROM 3.1-99, ROM 0.0, ROM0.2-90 del año 1994, 2000,

2002; Tesis de puertos año 2004; Fernando Ortega Ángel y Martínez Clemente Mercedes año 1993, Bhattacharyya, R año 1978).

1.5.1.1 Clima Marítimo y Meteorología

Normalmente en los proyectos de diseño de puertos se incluye información sobre todos o algunos de los aspectos siguientes:

- Las alturas, los períodos y la excedencia de determinadas alturas de ola.
- Las mareas y las elevaciones del nivel del mar.
- Las corrientes.
- El viento.
- La lluvia.
- La niebla.
- La temperatura.

Esta información es necesaria para estudiar la resistencia de las diferentes estructuras frente a las solicitaciones producidas por el mar, y/o la funcionalidad de la solución.

1.5.1.2 Topografía y Batimetría

Se verificará que los datos topográficos y batimétricos incluidos en el Proyecto son correctos, en particular:

- Extensión, a fin de verificar que incluyen la totalidad de las obras y del entorno afectado.
- Sistema de obtención de datos.
- Fecha de obtención de datos.
- Densidad de información.

1.5.1.3 Geología y Geotecnia

En cualquier infraestructura es fundamental el conocimiento de las características de los terrenos donde se ubica.

Se deberá comprobar que el Proyecto define inequívocamente la naturaleza y la situación de los niveles de los diferentes terrenos, así como los parámetros geotécnicos de éstos, en particular, aquellos que determinan:

- La capacidad portante del terreno.
- La estabilidad de los taludes.
- Las actuaciones para mejorar los terrenos.
- Los procesos de ejecución de cimentaciones profundas.

Para realizar esta tarea es necesario revisar los datos que han permitido determinar las características geotécnicas del terreno.

1.5.1.4 Sismicidad

Se deberá comprobar que en el Proyecto se aplica la normativa sísmica vigente en el emplazamiento de las obras (NC. Cargas para el Cálculo).

Otros aspectos que se deben verificar en el diseño son:

- Las características de los materiales de construcción.
- Las características de los buques tipo.
- Las cargas de uso y explotación.
- Las cargas de atraque y amarre.
- La repercusión de otros proyectos que lo puedan afectar o verse afectados por él.

No es habitual que en el proyecto figuren:

- Los medios de producción previstos: dragas, gánguiles, cajoneros, grúas, etc.
- Los muelles auxiliares y, en su caso, puertos de servicio y fondeaderos.

En este trabajo se profundiza especialmente en el análisis de los efectos que produce la grúa y los provocados por el buque.

1.5.2 Efecto de carga producido por la grúa

Este efecto de carga producido por la grúa móvil de puerto se deriva de las acciones que realiza ella al trasladar la mercancía, la cual no es siempre la misma, por lo que hay que distinguir entre diferentes modos de servicio (servicio con cargas pesadas, contenedores, cucharas, etc.) en los que se presentan cargas de todo tipo (contenedor vacío – contenedor lleno; cuchara vacía – cuchara llena, etc.). Por ello es imposible definir una carga constante para la grúa.

1.6 Estudio de las cargas producidas por las grúas en puertos. (Por la Norma Española del año 2002, *ROM0.2-90*: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias).

Para el estudio de las cargas sobre el muelle se debe tener en cuenta las sobrecargas de equipos e instalaciones de manipulación de mercancías en función de las características específicas de la instalación que se proyecta y la zona en que se ubica. El proyectista deberá averiguar con los criterios preestablecidos de planificación portuaria y especificaciones, las características de los equipos de manipulación de mercancías que operan en la zona, su ubicación y la forma en que se solicitan a la estructura resistente.

En ausencia de criterios específicos el proyectista podrá incluir en el cálculo las cargas transmitidas por los equipos de manipulación que considere necesarios en función de uso genérico de área en que se ubica la obra, tomando como consideraciones:

- Las mercancías, materiales o suministros a manipular.
- Los métodos más adecuados para su manipulación.
- Las características medioambientales de la zona: principalmente el viento.

En este caso podrá considerarse que las sobrecargas debidas a las instalaciones de manipulación únicamente serán significativas en las áreas de operación y en aquellas vías destinadas y proyectadas específicamente como maniobra; y por tanto solo será necesario incluirlas en el cálculo en esas zonas.

En el proyecto se listarán los equipos de manipulación de mercancías que afectan la obra proyectada incluidos en el cálculo, sus características principales, y las cargas transmitidas por cada uno de ellos en cada condición de trabajo, señalándose en qué posición del equipo y la carga se producen las más desfavorables.

- Definición genérica del sistema de manipulación (tipo, carga máxima, alcance máximo).
- Definición geométrica de la banda de actuación.

Las sobrecargas de instalaciones de manipulación de mercancías serán tratadas como trenes de carga móviles constituidos por cargas superficiales, lineales o puntuales; extendidas, en el interior de bandas de actuación definidas en proyecto, a parte o a la totalidad de las estructuras resistentes, de tal forma que produzcan los efectos más desfavorables en el elemento analizado. Su distribución quedará limitada por la compatibilidad entre sí y con otras sobrecargas de uso o explotación.

Los valores característicos de las cargas transmitidas a la estructura resistente será proporcionadas directamente por los fabricantes y proveedores de los equipos, debiendo haber obtenidos mediante la aplicación al equipo de las solicitaciones y combinaciones de cargas previstas en la normativa vigente para el cálculo de los sistemas de manipulación de mercancías, pero sin incluir el coeficiente de seguridad global.

En cualquier caso, el cálculo y comprobación de la estructura resistente en cada una de las fases de proyecto o hipótesis de trabajo, obligará a diferenciar las sobrecargas transmitidas por las instalaciones de manipulación según las hipótesis de carga que se detallan, por la posición y magnitud de la carga manipulada que dé lugar a las acciones máximas.

- En condiciones normales de operación.
- Equipo en Servicio sin Viento: Peso Propio + Carga de Servicio.
- Equipo en Servicio con Viento límite de Operatividad: Peso Propio + Carga de Servicio + Viento límite de Operatividad.

A falta de criterios de Operatividad definidos se adoptará como viento límite de operatividad para los equipos de elevación aquel cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de (80 km/h), (22m/s); actuando en la dirección que produzca los efectos más desfavorables para una posición determinada de la carga de servicio.

- En Condiciones Extremas.
- En equipos fijos o de rodadura restringido (equipos sobre carriles o sobre bandas de rodadura) se considerará que una vez superada las condiciones medioambientales límites de Operatividad el equipo paraliza sus actividades adoptando la posición de menor superficie expuesta, pudiéndose asegurar contra el arrastre mediante dispositivo de amarre (por ejemplo cadenas, garras o cerrojos).

En este caso la hipótesis de carga será: Peso Propio + Viento de Condiciones Extremas, La velocidad de cálculo para el viento en condiciones extremas será aquella que corresponda con el período de retorno asociado al mayor riesgo admisible. En general para equipos de manipulación de mercancías se utilizarán períodos de 100 años, lo que equivale a riesgos máximos admisibles aproximadamente del 20% par vidas útiles de los equipos de 25 años.

- En los equipos sin movilidad restringida (por ejemplo equipo sobre neumáticos) se considerará que al alcanzarse las condiciones medioambientales límites de operatividad

los equipos se resguardan en zonas protegidas o auxiliares, sin que sea necesario considerar en el cálculo la hipótesis de trabajo: en condiciones extremas.

- En Condiciones Excepcionales.

Se considerarán en el cálculo como acciones accidentales las transmitidas en las siguientes hipótesis de carga:

- Equipo en Servicio bajo el efecto de una colisión (con el buque, con otro equipo): Peso Propio + Carga de Servicio + Colisión.
- Equipos Fuera de Servicio en Condiciones Medioambientales Excepcionales: Peso Propio + Viento en Condiciones Excepcionales (Período de retorno superior al correspondiente a condiciones extremas. A falta de otros datos se tomará 1000 años).

Para sistemas continuos de manipulación de mercancías, además de las acciones reseñadas deberán incluirse las cargas producidas por los cambios de dirección del sistema en planta o alzado, por las presiones o la temperatura del flujo transportado en relación a las condiciones exteriores, o por cualquier acción interna propia del sistema.

Todas estas acciones deberán superponerse a cada una de las hipótesis de carga compatibles.

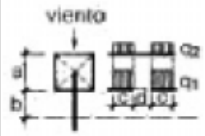
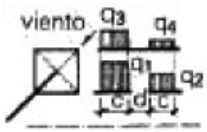
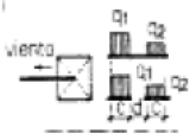
Se debe incluir en el proyecto la procedencia o fuente de las cargas transmitidas por las instalaciones de manipulación de mercancías utilizadas en el cálculo, indicando si dichas cargas engloban o no la cuantificación de efectos dinámicos.

A efectos indicativos de orden de magnitud, las cargas transmitidas por equipos tipo de manipulación de mercancías en zonas portuarias se consignan en la tabla 3.4.2.3.2.1., y 3.4.2.3.2.2., para equipos sobre carriles, y 3.4.2.3.2.3., para equipos sobre neumáticos y orugas, de la Norma Española del año 2002, *ROM0.2-90.*

Asimismo, para equipos continuos de manipulación de mercancías podrá adoptarse que las cargas transmitidas por éstos equivalen a 5 kN/m^2 por cada nivel de tuberías, cintas transportadoras, etc.; como mínimo de 20 kN/m^2.

En la tabla 3.4.2.3.2.1., de la Norma Española ROM0.2-90, se trabaja con la grúa pórtico donde se utilizan los valores del peso propio de la grúa, el alcance de su brazo, la definición geométrica, la hipótesis de trabajo (sin viento y con viento), obteniendo las cargas que produce la grúa con el brazo en posiciones diferentes, debido a los efectos del viento. A continuación se muestra un modelo de la tabla.

TABLA 3.4.2.3.2.1. CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS EQUIPOS SOBRE CARRILES: GRÚAS PÓRTICO.

EQUIPO	Definición geométrica (en m)	HIPÓTESIS DE TRABAJO		TREN TIPO (en t/m)		
						
GRÚA PÓRTICO DE 6 t y 25 m de alcance. (peso propio ≈86 t)	a = 6 b = 2a3 c = 1 d = 5	En condiciones normales de operación	Sin Viento	$q_1 = 36$ $q_2 = 10$	$q_1 = 40$ $q_3 = 22$ $q_2 = 22$ $q_4 = 8$	$q_1 = 36$ $q_2 = 10$
			Con Viento	$q_1 = 40$ $H_{VT} = 2,5$ $q_2 = 6$ $H_{VL} = 0$	$q_1 = 44$ $q_3 = 22$ $H_{VT} = 1,8$ $q_2 = 22$ $q_4 = 4$ $H_{VL} = 1,8$	$q_1 = 40$ $H_{VT} = 0$ $q_2 = 6$ $H_{VL} = 2,5$
		En condiciones extremas		$q_1 = 37$ $H_{VT} = 8$ $q_2 = 6$ $H_{VL} = 0$	–	$q_1 = 37$ $H_{VT} = 0$ $q_2 = 6$ $H_{VL} = 8$
GRÚA PÓRTICO DE 12 t y 25 m de alcance. (peso propio ≈200 t)	a=10 b = 2a3 c=3 d = 6	En condiciones normales de operación	Sin Viento	$q_1 = 25$ $q_2 = 10$	$q_1 = 28$ $q_3 = 17$ $q_2 = 17$ $q_4 = 8$	$q_1 = 25$ q2 = 10
			Con Viento	$q_1 = 27$ $H_{VT} = 1$ $q_2 = 8$ $H_{VL} = 0$	$q_1 = 30$ $q_3 = 17$ $H_{VT} = 0,75$ $q_2 = 17$ $q_4 = 6$ $H_{VL} = 0,75$	$q_1 = 27$ $H_{VT} = 0$ $q_2 = 8$ $H_{VL} = 1$
		En condiciones extremas		$q_1 = 24$ $H_{VT} = 3$ $q_2 = 9$ $H_{VL} = 0$	–	$q_1 = 24$ $H_{VT} = 0$ $q_2 = 9$ $H_{VL} = 3$
GRÚA PÓRTICO DE 16 t y 35 m de alcance. (peso propio ≈ 264 t)	a = 10 b = 2a3 c = 4 d = 6	En condiciones normales de operación	Sin Viento	$q_1 = 25$ $q_2 = 10$	$q_1 = 28$ $q_3 = 18$ $q_2 = 18$ $q_4 = 6$	$q_1 = 25$ $q_2 = 10$
			Con Viento	$q_1 = 27$ $H_{VT} = 0,7$ $q_2 = 8$ $H_{VL} = 0$	$q_1 = 32$ $q_3 = 18$ $H_{VT} = 0,5$ $q_2 = 18$ $q_4 = 2$ $H_{VL} = 0,5$	$q_1 = 27$ $H_{VT} = 0$ $q_2 = 8$ $H_{VL} = 0,7$
		En condiciones extremas		$q_1 = 24$ $H_{VT} = 2,5$ $q_2 = 9$ $H_{VL} = 0$	–	$q_1 = 24$ $H_{VT} = 0$ $q_2 = 9$ $H_{VL} = 2,5$

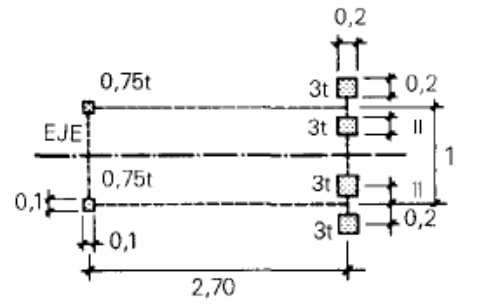
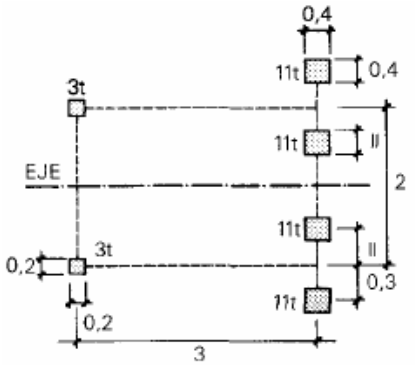
En la tabla 3.4.2.3.2.2., de la Norma Española ROM0.2-90, se trabaja con la grúa de portacontenedores de diferentes capacidades de cargas, el tipo de contenedor, el alcance, su definición geométrica y con las hipótesis de trabajo, para condiciones normales de operación, y en condiciones extremas, obteniendo las cargas verticales correspondientes a cada apoyo de la grúa, y las cargas horizontales (longitudinal y transversal) debidas al viento correspondiente de cada pata. A continuación se muestra un modelo de la tabla.

TABLA 3.4.2.3.2.2. CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS. EQUIPOS SOBRE CARRILES: GRÚAS PORTACONTENEDORES.

EQUIPO	Definición Geométrica (en m)	HIPÓTESIS DE TRABAJO		TREN TIPO (en t/m)
GRUA PORTACONTENEDORES de 38 t de capacidad de carga (utilizadas para contenedores de 40'). Alcance lado mar de 30 m. (Peso propio = 500 t)	a = 15 b = 3 c = 7,5 d = 9	EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN		
			Sin viento	$q_1 = 30$ $q_2 = 5$
		Carro máximo alcance y carga completa lado mar	Con viento transversal o longitudinal. Límite de operatividad: $V_{3S} = 22$ m/s	$q_1 = 32 \pm 2$ $q_2 = 5 \pm 2$ H_{VT} O $H_{VL} = 0,55$
		Carro máximo alcance y carga completa lado tierra	Sin viento	$q_1 = 15$ $q_2 = 20$
			Con viento transversal o longitudinal. Límite de operatividad: $V_{3s} = 22$ m/s	$q_1 = 15 \pm 2$ $q_2 = 20 \pm 2$ H_{VT} O $H_{VL} = 0,55$
		EN CONDICIONES EXTREMAS		
		Pluma recogida Carro y cabina en posición de aparcamiento	Con viento transversal al carril $V_{3s} = 40$ m/s	$q_1 = 15 \pm 6$ $q_2 = 18 \pm 6$ $H_{VT} = 2$
			Con viento longitudinal al carril $V_{3s} = 40$ m/s	$q_1 = 15 \pm 6$ $q_2 = 18 \pm 6$ $H_{VL} = 2$

En esta tabla 3.4.2.3.2.3., de la Norma Española ROM0.2-90, se trabaja con el tipo de tren (unidades de longitudes en m, carga en toneladas) y la sobrecarga uniforme equivalente en kN/m^2 obteniendo la equivalencia física del tipo de grúa a utilizar, conjuntamente con la capacidad de carga nominal y su peso propio. A continuación se muestra un modelo de la tabla.

TABLA 3.4.2.3.2.3. CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS. EQUIPOS SOBRE NEUMÁTICOS Y ORUGAS.

TREN TIPO - Unidades de longitud en m. - Carga en toneladas.	Sobrecarga uniforme equivalente (t/m^2)	EQUIVALENCIA FÍSICA
	1,50	Carretilla elevadora/ transportadora de horquilla de 5 t de capacidad de carga nominal. (Fork-lift trucks) Peso propio = 8t
	2,50	Carretilla elevadora/ transportadora de horquilla de 20 t de capacidad de carga nominal. (Fork-lift trucks) Peso propio = 30t

En la Norma Española ROM 0.2-90 Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias, aparecen más detalladas estas tablas en el Capítulo-3 (Epígrafe-3.4) Valores característicos de las acciones, inciso 3.4.3.2.3 Sobrecarga de Equipos e Instalaciones de manipulación de mercancías, residen las tablas resúmenes de sobrecarga equivalente en kN/m^2 en función del tren de carga.

Tabla resume de las ROM utilizadas

Nombre	Descripción
ROM 0.2-90	Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
ROM 0.5-94	Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias.
ROM 3.1-99	Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación.

1.7 Efecto que produce el buque contra el muelle (Libro: Cargas de edificaciones y obras de ingenierías, del Dr.Ing. Francisco A. Medina Torri).

El buque produce varios efectos contra el puerto emitiendo grandes fuerzas o cargas que se tienen en cuenta en el diseño y en la revisión de estructuras portuarias, estos efectos son:

a) Cuando el buque está amarrado en puerto.

Son aquellas cargas impuestas por el buque atracado hacia la estructura a través del contacto entre este y el muelle o el sistema de defensa, o a través de líneas de amarre tensionadas, también son consideradas como cargas de amarre aquellas debida a maniobras del buque atracado; especialmente la liberación o rotura de amarras en carga y el pretensionado de ellas como auxilio durante la maniobra de atraque. Estas cargas de amarre son causadas por acciones exteriores, fundamentalmente medioambientales, que se ejercen sobre el buque atracado. Su magnitud y distribución dependerá principalmente de las características geométricas y físicas del sistema buque/amarras/defensa diseñadas para hacer frente a los esfuerzos producidos por las acciones exteriores, de modo que permita la realización de operaciones en el buque atracado dentro de unos límites en cuanto a movimientos admisibles (dependiente del tipo de buque y de la operación a llevar a cabo) y a esfuerzos máximos en amarres, defensa y buques.

- Las principales fuerzas exteriores causantes son:
- Viento.
- Corrientes marinas.
- Oleaje.
- Resonancia por fenómenos de ondas largas.
- Mareas.
- Ubicación del amarre en zonas con flujos o reflujos importantes de agua.
- Paso de otros buques.
- Carga y descarga del buque.

b) Cuando el buque atraca en el puerto.

Al atracar el buque se produce un impacto sobre el muelle, fuerzas o cargas paralelas a la superficie defensa que actúan vertical y horizontalmente en la zona de contacto entre el casco del buque y el sistema de atraque.

Dichas fuerzas son las componentes tangenciales inducidas por la oblicuidad del impacto y la geometría de buque en la zona de contacto. Para la determinación de dichas fuerzas se considerará que en el momento de máxima deformación, en el punto de contacto atraque/buque no hay deslizamiento relativo, produciéndose únicamente en la dirección normal a la superficie del atraque aceptándose que defensa y estructura son rígidos en la dirección transversal.

- En nuestro país no existe una norma oficial referente a esta carga, los especialistas cubanos en el cálculo de diseño de muelles tienen especificaciones y bases de diseños que constituyen en realidad normativas para el caso cuando el buque está amarrado y cuando atraca al mismo muelle.

➢ **Con el buque amarrado**

Fuerzas normales del buque amarrado.

- Es la fuerza normal total F_{NT} que se considera como la suma de los efectos normales debido al viento F_{NV}, las normales debido a la corriente marítima F_{NC}, y las normales debido a las olas F_{NO}.

$$F_{NT} = F_{NV} + F_{NC} + F_{NO} \qquad \textit{Exp. 1}$$

1) *Fuerza normal de viento en kilómetros.*

$$F_{NV} = 73.6*10^{-5} * A_N * V^2_N * \varepsilon \qquad \textit{Exp. 2}$$

Donde:

73.6 = coeficiente empírico

A_N = Área neta expuesta del buque en lastre normal en m^2, que se determina por fórmula.

$$A_N = A - A_P \qquad \textit{Exp. 3}$$

A = Área expuesta bruta del buque en lastre en m^2. A falta de datos exactos se puede determinar por una de estas fórmulas empíricas.

$A=0.10E^2$ para buques petroleros.

$A=0.11E^2$ para buques pesqueros.

$A=0.12E^2$ para buques pasajeros.

$A=0.13E^2$ para buques cargueros.

E = eslora máxima del buque en m.

A_P = Área de apantallamiento que está delante de área expuesta bruta del buque en m^2.

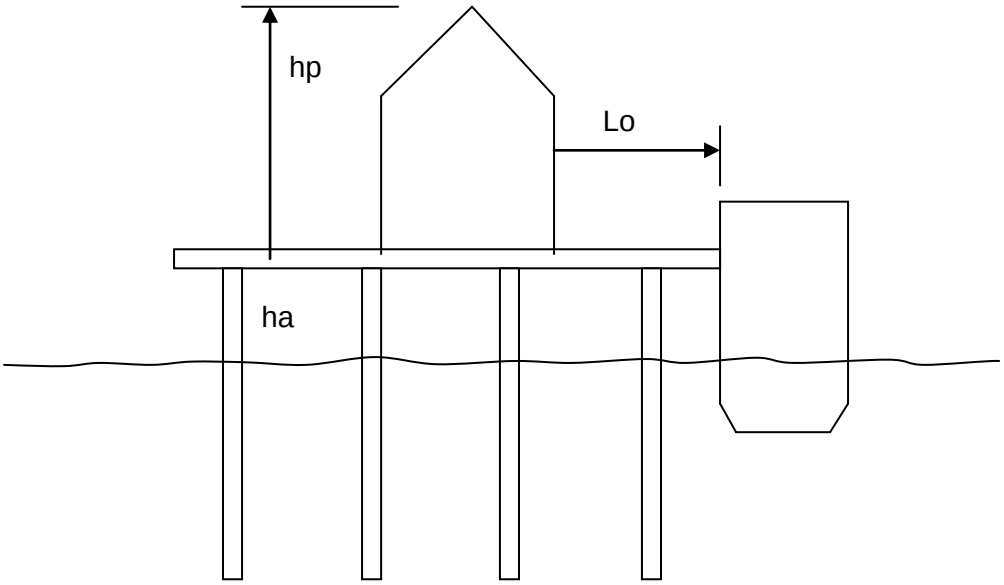


Figura 1.7. Determinación del área de apantallamiento.

El área de apantallamiento cuando existe se determina por la siguiente expresión.

$$A_P = (ha + \alpha\, hp)\, E \qquad \textit{Exp. 4}$$

Donde:

ha = altura de muelle o amarradero sobre el nivel máximo del mar en metros.

hp = altura promedio de las pantallas que se estén considerando y que protegen al buque.

α = coeficiente reductor de la pantalla, cuyo valor se obtiene por:

$$\alpha = 0.5*[(hp*Lp)/(Lo*E)] \qquad \textit{Exp. 5}$$

Donde:

Lp = longitud de la pantalla situada a la eslora del buque.

Lo = distancia promedio del lado del buque a la pantalla en metros. Se considera un valor total si *Lo* > *hp*, y si *Lo* < *hp* se considera *Lo* = *hp*

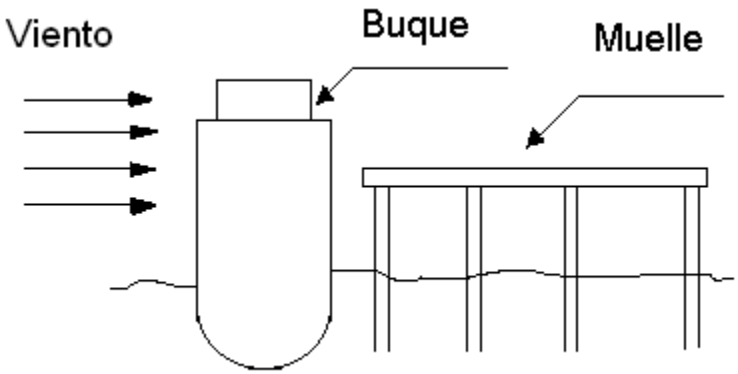


Figura 1.8 Acción del viento sobre el buque

Eslora máxima del buque en (m)	E ≤ 25	25 < E ≤ 75	75 < E ≤ 200	200 < E
ε	1.00	0.80	0.65	0.50

Tabla 1 donde se determinan los valores del coeficiente de ε.

2) *Fuerzas normales debido a la corriente marítima* F_{NC}*, en kilómetros.*

$$F_{NC} = 0.59 * A_{NS} * (V_{NC})^2 \qquad \textit{Exp. 6}$$

Donde:

0.59= coeficiente empírico.

A_{NS} = área sumergida de buque en m^2, normal a la dirección de la corriente, que a falta de datos se puede obtener por formulas empíricas que tenga en cuenta el calado y la eslora para la condición real del desplazamiento.

V_{NC} = velocidad de la corriente normal atraque, en m/s. Esta velocidad se determina de las informaciones hidrográficas con un 2% de probabilidad.

3) *Fuerza normal debido a la ola* F_{NO}*, en kilómetros.*

$$F_{NO} = \eta \rho g h_O A_{NS} \qquad \textit{Exp. 7}$$

η = es un coeficiente que se toma del ábaco (figura 13.3 página 91 del libro de Dr. Ingeniero: Francisco A. Medina Torri año 1996) en función de las relación del calado C en m y la longitud de la ola en m.

ρ = densidad del agua de mar 1.025 tf/m^3.

g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s^2.

h_O = altura de la ola, en m que se determina de las informaciones hidrográficas del lugar para un 5% de probabilidad.

4) Fuerzas paralelas del buque amarrado.

- Es la fuerza paralela total F_{PT} que se considera como la suma de las fuerzas paralelas debido al viento F_{PV}, a la corriente marítima F_{PC}, y las fuerzas paralelas debido a las olas F_{PO}.

$$F_{PT} = F_{PV} + F_{PC} + F_{PO} \qquad \textit{Exp. 8}$$

5) *Fuerza paralela de viento en kilómetros.*

$$F_{PV} = 49.0*10^{-5} * A_{PV} * V^2_{PV} * \varepsilon \qquad \textit{Exp. 9}$$

Donde:

49.0 = coeficiente empírico.

A_{PV} = área neta expuesta del buque en lastre normal, paralela a la velocidad del viento. A falta de datos se tomará para el valor de ésta el 14% del área neta, A_N.

V_{PV} = componente de la velocidad del viento paralela al atraque que se determina por las informaciones hidrográficas del lugar de emplazamiento de la obra. De no existir estos datos se usarán los de la norma cubana de carga de viento.

ε = Coeficiente que se toma de la Tabla anterior.

6) Fuerzas paralelas debida a la corriente marítima.

Es la producida por la velocidad de la corriente V_{PC}, en kN.

$$F_{PC} = 0.59 * A_{PS} * (V_{PC})^2 \qquad \textit{Exp. 10}$$

Donde:

0. 59= coeficiente empírico.

V_{PC} = velocidad de la corriente paralela al atraque, en m/s y se determina de las informaciones hidrográficas con un 2% de probabilidad.

A_{PS} A falta de datos se tomara el 14 % del área sumergida normal.

7) Fuerza paralela debido a la ola F_{NO}*, en kilómetros.*

$$F_{PO} = \eta\ \rho\ g\ h_o\ A_{PS} \qquad \textit{Exp. 11}$$

Donde:

η, ρ, g, h_o ya fueron definidos anteriormente.

A_{PS} A falta de datos se tomara el 14 % del área sumergida normal.

8) Fuerza de compresión sobre el muelle o amarradero.

Como señalamos anteriormente la F_N que el viento, la corriente y las olas producen sobre el buque, se transmiten al atraque, determinando fuerza de compresión o de tracción. La fuerza total de compresión, ***C***, en kilonewton, sobre el muelle o amarradero:

$$C = (1.10F_{NT}) / L_C \qquad \textit{Exp. 12}$$

Donde:

Lc = longitud de contacto de la operación con el atraque, en m.Este valor depende de la relación entre el largo del muelle o amarradero ***L*** en m y el largo de la recta de buque, ***Lr*** en m. lo anterior se grafica en la figura siguiente:

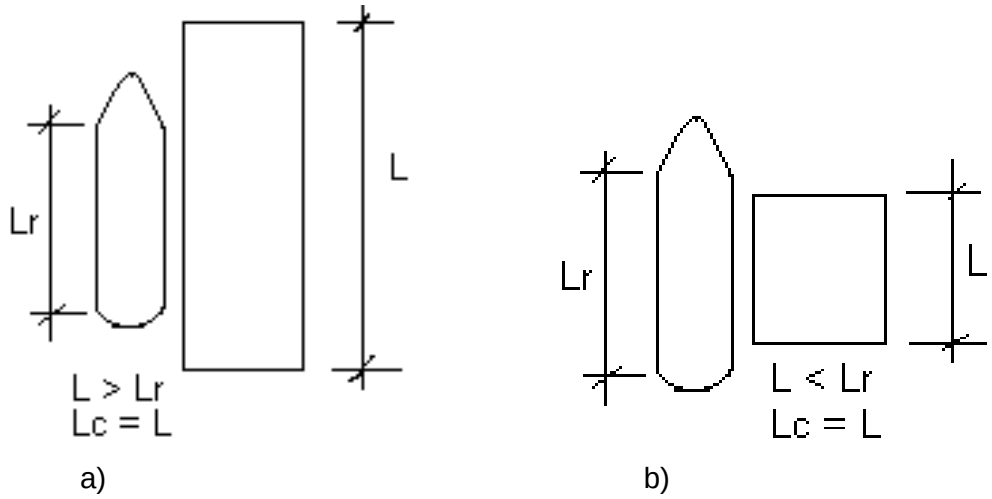


Figura 1.9. Determinación de Lc

De la figura anterior se determina:

Si ***L > Lr*** el valor de ***Lc = Lr***

Si ***L < Lr*** el valor de ***Lc = L***

El valor de Lr se determina a falta de datos de los buques, en función de la eslora E, por las expresiones siguientes:

Lr = 0.65E para buques petroleros, pesqueros y cargueros.

Lr = 0.50E para buques de pasajeros.

9) Fuerza de tracción sobre los cabos.

Cuando el buque ejerce tracción sobre el muelle, lo hace mediante las fuerzas de tracción N_T que actúan sobre los cabos de amarre. Esta se determina a partir de la fuerza normal total F_{NT}, del número de amarres que trabajan (***n***), del ángulo de inclinación (***β*** en grados) del cabo con el plano que contiene el tablero del muelle y del ángulo (***α*** en grados) que forma la proyección de N_T con la línea de atraque.

$$N_T = F_{NT} / (n * sen\alpha * cos\beta) \qquad \textit{Exp. 13}$$

N_T = fuerza de tracción por amarre.

El número de *n,* de amarres que trabajan se puede tomar de la tabla 2.

Eslora máxima del buque en (m)				
	E < 50	50 < E ≤ 200	200 < E ≤ 300	300 > E
Distancia entre amarres o bolardos lp en m	20	25	30	30
Números de amarres o bolardos que trabajan	2	4	6	8

Tabla 2. Números de amarres que trabajan

Ángulo de inclinación de los amarres (en grados sexagesimales)				
Buques marítimos	Posición de los amarres	α	β	
			Buques cargados	Buques en lastre
	Línea de atraque	30	20	40
	Línea posterior	35	10	20

Tabla 3. Ángulo de inclinación α, β.

Al atracar el buque

Al atracar el buque este produce impacto sobre el muelle, determinando la fuerza normal de impacto, F_{ni} y la fuerza paralela de impacto, F_{pi}.

10) Fuerza normal total debida al impacto $F_{ni.}$

Para obtener esta fuerza en kN es necesario determinar la energía absorbida E_{ab}, por el sistema de atraque defensa en kN.

$$E_{ab} = \psi * (V^2 / 2g) \qquad \textit{Exp. 14}$$

Donde:

Ψ = coeficiente que se toma de tabla 4. Para buques en lastre se reducirán los valores en 15%.

V = componente de la velocidad de aproximación normal del buque en m/s que se toma de la tabla 5.

g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s.

La fuerza normal total de impacto aplicado al atraque se obtiene por la expresión siguiente:

$$F_{ni} = \sqrt{(2 K E_{ab})} \qquad \textit{Exp. 15}$$

Donde:

K = es la constante de rigidez del sistema atraque-defensa, en kN/m.

E_{ab} = está definida en la expresión anterior.

Estructuras de los atraques	Coeficientes ψ
Atraque masivo	0.50
Atraque con cortina delantera con pilotes	0.50
Atraque con cortina delantera	0.50
Atraque con pilotes delanteros y cortinas traseras	0.55
Espigones y piñas con pilotes verticales e inclinados	0.65
Piñas de giros	1.60

Tabla 4. Coeficientes ψ

Δ ≤ 0.20	0.22
20 < Δ ≤ 75	0.15
75 < Δ ≤ 300	0.13

300 < Δ ≤ 700	0.11
700 < Δ ≤ 2000	0.09
Δ > 2000	0.08

Tabla 5. Relación entre el desplazamiento del buque en miles de kilómetros y la velocidad máxima de aproximación en m/s.

11) Fuerza paralela total debida al impacto F_{pi}

$$F_{pi} = \mu F_{ni} \qquad \textit{Exp. 16}$$

Donde:

μ = coeficiente que depende del material de la superficie en contacto de la defensa y buques. Se produce de los valores de:

μ = 0.5 para hormigón o goma.

μ = 0.4 para madera.

En la Norma Española ROM0.2-90. Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias, en el Capítulo-3 Acciones (Epígrafe-3.4) Valores característicos de las acciones aparece descrito con mayor grado de detalle el efecto del buque sobre el muelle cuando está amarrado, (inciso 3.4.3.2.5) Sobrecargas de operaciones de buques.

El efecto que produce el buque hacia el muelle

Sobrecarga de operaciones de buques.

Son aquellas cargas extremas producidas por la actuación directa o indirecta del buque sobre estructuras o instalaciones portuarias, como son el caso de:

- Carga de atraque.
- Cargas de amarres.
- Cargas de carena.
- Cargas de varada.

Estas cargas producidas por la actuación directa o indirecta del buque sobre estructuras o instalaciones portuarias se determinarán tomando en consideración los factores siguientes:

- Dimensiones, características estructurales y movimientos del buque.
- Características físicas de la instalación: emplazamiento, accesibilidad, protección.
- Factores operacionales: condiciones de aproximación a la instalación y métodos de operación y maniobra, frecuencia de llegadas.

- Naturaleza y características de la estructura resistente. Incluyendo la existencia y compatibilidad con diversos tipos de equipamientos como defensas, amarras. Bolardos, boyas de amarre, picaderos, carros de varada.
- Mareas, variaciones del nivel del mar y posibilidad deformaciones en el francobordo de los buques.
- Condiciones medioambientales: vientos, oleaje, corrientes, hielo.

a) Carga de Atraque.

Son las cargas generadas entre el buque y la estructura de atraque desde el momento en que se produce el primer contacto entre ellos hasta que finalmente se alcanza el reposo.

- Carga de Impacto (R) (normales a la superficie de atraque).
- Cargas de Rozamientos (T) (paralelas a la superficie de atraque).

Las cargas de Impacto, normales a la superficie de atraque dependerán de los siguientes parámetros:

- La energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque.
- La excentricidad del atraque.
- La geometría de buque.
- La configuración geométrica de atraque.
- Las relaciones tensión/deformación en el buque, la estructura resistente y el sistema de defensa.

- *La energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque (E).*

$$E = 0.5g * C_m * \Delta * (V_b)^2 \qquad \textit{Exp. 17}$$

Siendo:

E = La energía cinética características, en t.m.

Δ = peso del buque de proyecto (generalmente desplazamientos a plena carga, en t.)

V_b = Componente normal a la superficie de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto, en m/s.

C_m = coeficiente de masa hidrodinámica (a dimensional).

g = Aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2).

Más detallada se muestra esta información en la Norma Española ROM 0.2-90 Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias.

Cargas de Rozamientos (T)

Son cargas paralelas a la superficie del sistema de defensa que actúan vertical y longitudinalmente en la zona de contacto entre el casco del buque y el sistema se atraque.

Estas fuerzas son las componentes tangenciales inducidas por oblicuidad del impacto y la geometría de buque en la zona de contacto. Para su determinación se considerará que en el momento de máxima deformación, en el punto de contacto atraque/buque no hay deslizamiento relativo, produciéndose únicamente una rotación del buque alrededor del punto de contacto; y que el sistema de defensa es capaz de deformarse únicamente en la dirección normal a la superficie de atraque, aceptándose que defensa y estructura son rígidos en la dirección transversal.

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

$$T = \mu * R \qquad \textit{Exp. 18}$$

Donde:

R = carga de impacto de proyecto.

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

Cargas de Amarre

Son las cargas impuestas sobre una estructura por un buque atracada a través del contacto entre éste y el estructura o el sistema de defensa, o a través de líneas de amarre tensionadas, también se consideran como las maniobras que produce el buque atracado especialmente en liberación o rotura de amarras en carga y el pretensionado de ellas como auxilio durante la maniobra de atraque.

Estas cargas son causadas por acciones exteriores, fundamentalmente medioambientales que ejercen sobre el buque atracado. Su magnitud y distribución dependerá principalmente de las características geométricas y físicas del sistema buque /atraques/defensas diseñado para hacer frente a los esfuerzos producidos por las acciones exteriores de modo que permita la realización de operaciones en el buque atracado dentro de unos límites en cuanto a movimientos admisibles (dependiente del tipo de buque y de la operación a llevar a cabo) y a esfuerzos máximos en amarres, defensas y buques.

Las principales fuerzas exteriores causantes son:

- Viento.
- Corrientes.
- Oleaje.
- Resonancias por fenómenos en ondas largas.
- Mareas.
- Ubicación del amarre en zonas con flujo o reflejos importantes de agua.
- Paso de otros buques.
- Carga/descarga del buque.
- Hielo.

Más detallada se muestra esta información en la Norma Española ROM 0.2-90 Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias.

1.8 Proceso general de cálculo

Los objetivos de todo cálculo estructural será garantizar en cada una de las fases de proyecto que:

- La estructura o elemento estructural analizado sea capaz de resistir todas las acciones normales que puedan actuar sobre él con un nivel de seguridad determinado, teniendo una durabilidad adecuada a la relación útil y a los programas de mantenimientos previstos.
- El comportamiento de la estructura respeta los criterios funcionales y operacionales que determinan las condiciones adecuadas de utilización y mantenimientos.
- La estructura sea capaz de resistir con un nivel de seguridad aceptable la actuación de acciones de carácter fortuito o anormal que puedan presentarse como resultado de un accidente, mal uso, o condiciones medioambientales extraordinarias (Acciones Accidentales).

1.9 Estados Límites

En la Norma Española ROM 0.2-90 Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias, del Capitulo-4 Base de cálculo, (Epígrafe- 4.1) Proceso general de cálculo, (inciso 4.1.3) Estados Límites y también en la ROM 0.0. Procedimiento general y requisitos en el diseño de puerto y estructuras marítimas. Año 2002.

Los Estados Límites a considerar en el cálculo se clasifican en:

- Estados Límites Últimos (ELU).
- Estados Límites Utilización (ELS).

a) Estados Límites Últimos (ELU).

La denominación de Estados Límites Últimos engloba a todos aquellos estados correspondientes a una puesta fuera de servicio de la estructura por colapso, rotura, pérdidas de estabilidad, u otras formas de fallo estructural de la misma o de la parte de ella. Dichos estados están relacionados con la máxima capacidad de carga del sistema estructural.

Deberán tomarse en consideración, siempre que sean significantes, los siguientes Estados Límites Últimos:

- *Estados Límites de Equilibrio Estático*, definidos por la pérdida de estática de una parte o del conjunto de la estructura considerada como un cuerpo rígido (por ejemplo vuelco, desplazamientos, levantamiento de apoyos, flotación).
- *Estados Límites de Agotamientos o Roturas*, definidos por el agotamiento resistente o la deformación plástica excesiva de una o varias secciones de los elementos de la estructura. Se incluyen en estos estados límites aquellos específicos de solicitaciones tangentes como adherencia o anclaje.
- *Estado Límites de Inestabilidad de Segundo Orden* o pandeo de una parte o del conjunto del elemento estructural, donde se debe verificar que el mecanismo de inestabilidad no se produzcan a menos que se superen los valores de cálculo de las acciones, para las propiedades estructurales asimismo con sus valores de cálculo.
- *Estado Límite de Fatiga*, correspondiente a la rotura de una o varios materiales de la estructura por efecto de la fatiga bajo la acción de cargas repetidas en el tiempo (por ejemplo oleaje, corrientes, viento, hielo,…).
- *Estado Límites de Colapso Progresivos*, caracterizado por la rotura o pérdida de equilibrio estático de la estructura debido al fallo progresivo de sus elementos una vez que se ha producido el fallo inicial de uno o unos pocos de sus elementos simples (transformación de la estructura en un mecanismo).
- *Estado Límites de Deformación Acumulada*, o cambios inaceptables en la geometría del sistema.
- *Estado Límites Particulares* asociados a ciertas situaciones accidentales como resistencia al fuego térmico en el curso de un incendio.

b) Estado Límite de Utilización (ELS).

La deformación engloba a todos aquellos estados o situaciones de la estructura para las que la misma queda fuera de servicio por razones funcionales, de durabilidad, o estáticas.

Deberá verificarse que Ed ≤ Cd; siendo Ed los efectos producidos por las acciones de cálculo y Cd un valor nominal fijado a priori o una función de las propiedades de los materiales. Las relaciones pondrán ser escalares, vectoriales, e incluso más complejas.

Deberá tomarse en consideración, siempre que sean más significantes, los siguientes

Estado Límite de Utilización:

- *Estados Límites de Durabilidad*, caracterizado por el hecho de que la resistencia de la pieza frente a la agresividad del medio, o de las acciones un determinado valor límite, incluyendo estados límites como fisuración o comportamiento frente a la fisuración y corrosión.
- *Estados Límites de Deformación*, caracterizado por alcanzarse determinados movimientos o velocidades y aceleraciones de los mismos, en la estructura que afectan a la funcionalidad o la estática de la misma.
- *Estados Límites de Vibración*, con objetivo de prevenir en la estructura la existencia de vibraciones de una determinada amplitud o frecuencia capaces de producir en los elementos no estructurales, interferir en su normal funcionamiento, o causar incofort.
- *Estados Límites de Daños Permanentes*, caracterizado por el hecho de que la estructura tenga margen de seguridad suficiente para continuar en servicio durante toda su vida útil en el supuesto de que presenten daños que no puedan ser reparados, por ejemplo por la actuación de una carga accidental (por ejemplo si el material es hormigón será necesario comprobar, a efectos del estado límite de fisuración, que al desaparecer la acción extraordinaria considerada la fisuración remanente producida no extrañe dificultades de tipo funcional o peligro de durabilidad).
- *Estados Límites de Impermeabilidad*, para aquellas estructuras en las cuales su función principal es la creación de un comportamiento impermeable.

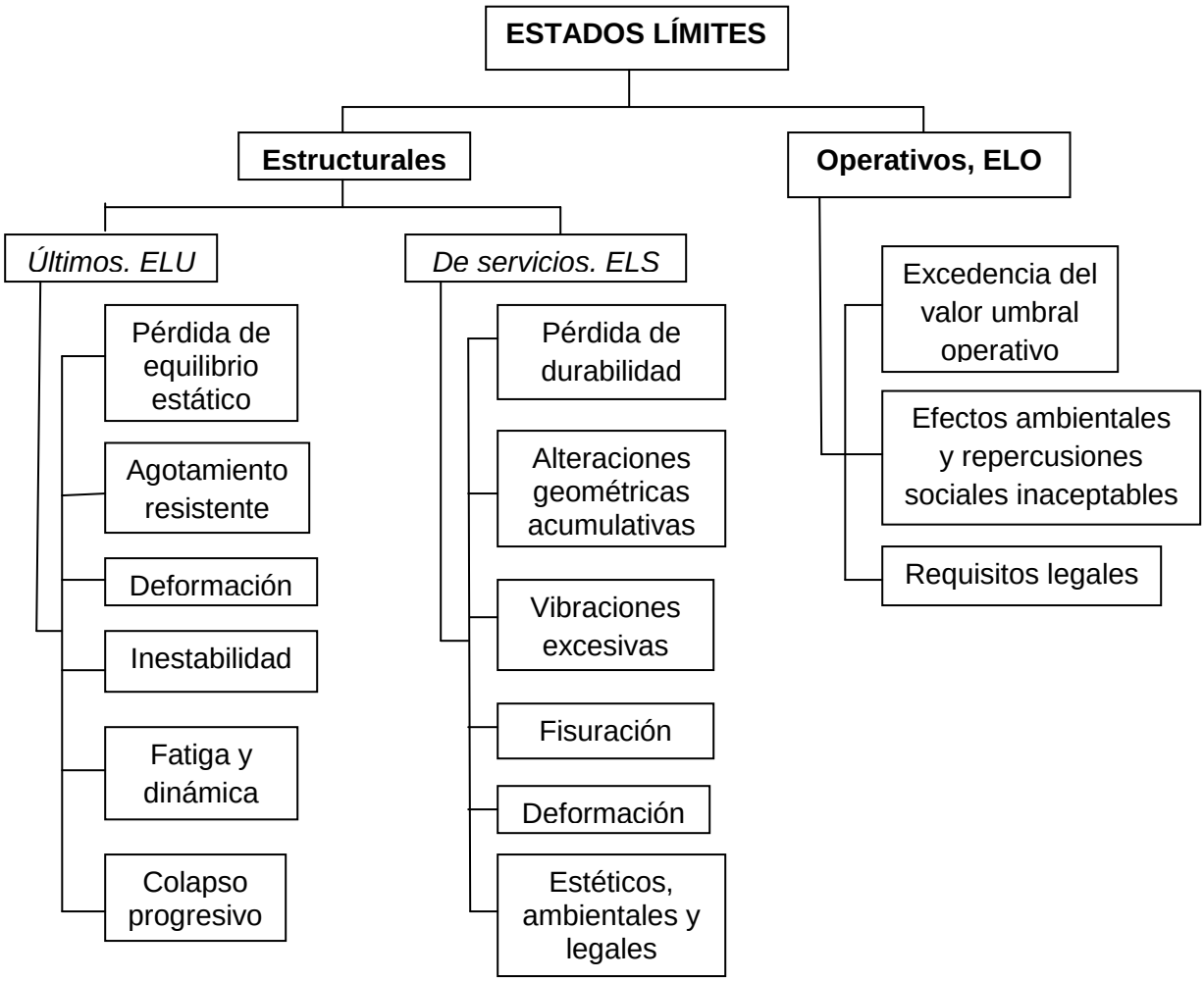


Figura 1.9. Chequeo de los Estados Límites según la ROM-00-Capítulo04

1.10 Criterios de combinación de acciones e hipótesis de carga

A continuación se muestran los criterios necesarios para las combinaciones de cargas que pueden surgir en las instalaciones o estructuras portuarias (Metodología integrada para la revisión de evaluación de impacto (MIREIA); www.digitalengineeringlibrary.com; Norma Española ROM 0.5-94 y ROM 0.0.

1.10.1 Valores de cálculo de las acciones

El valor de cálculo de una acción a considerar en cada una de las combinaciones de carga será obtenido a partir de la ponderación de uno de sus Valores Representativos (Valor Característico Fk; Valor de Combinación ψ_0*Fk; Valor Frecuente ψ_1*Fk; Valor casi-permanente ψ_2*Fk) mediante los coeficiente de seguridad (γf). (Según la norma española ROM 0.2-90 Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias).

El valor representativo de la acción adoptado para la determinación de su valor de cálculo dependerá de:

- La naturaleza de la acción.
- El efecto desfavorable de o favorable de la misma.
- La importancia o carácter de predominante de la acción en el dimensionamiento de la estructura analizada.
- La fase de proyecto e hipótesis de trabajo analizada.
- El estado límite considerado.

Asimismo el coeficiente de seguridad adoptado para la ponderación del valor representativo dependerá de:

- La naturaleza de la acción.
- El efecto desfavorable o favorable de la misma.
- La fase de proyecto e hipótesis de trabajo analizada.
- El estado límite considerado.
- El nivel de control de calidad previsto en la ejecución.
- Los daños previsibles en caso de rotura de la estructura.
- E incluso el material constructivo de la estructura.

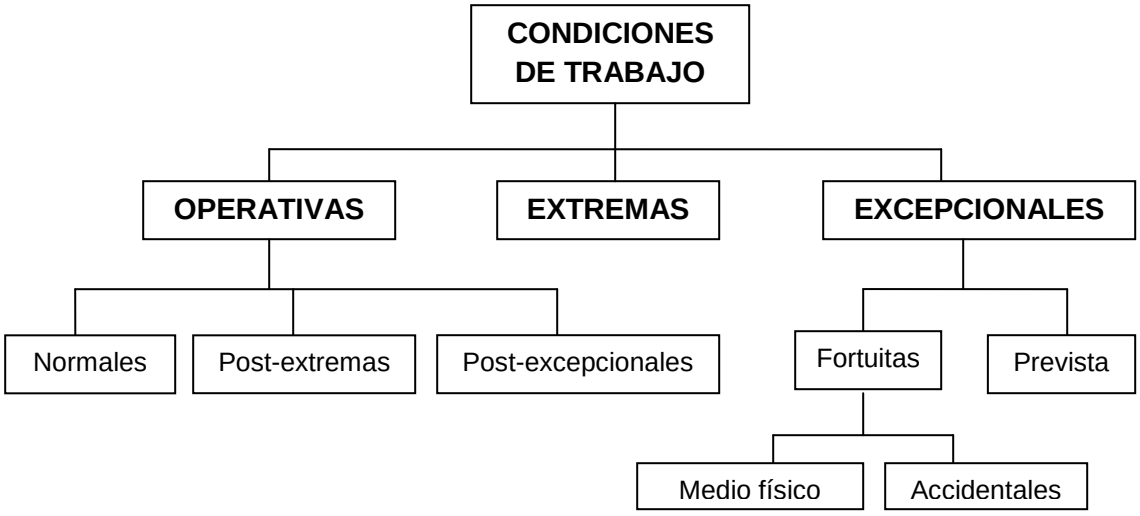


Figura 1.10. Condiciones de trabajo según la ROM-00-Capítulo04.

1.10.2 Combinación de acciones

a) Criterios generales.

Para encontrar la hipótesis de carga más desfavorable correspondiente a cada fase de proyecto y condición de trabajo, se procederá de la siguiente forma:

- De las acciones clasificadas en estas Recomendaciones se eliminarán aquellas que no se deban considerar por no actuar despreciablemente en el caso que se estudia.

En la Norma Española ROM 0.2-90 Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias, del Capitulo-4 Base de cálculo, (Epígrafe- 4.2) Criterios de combinación de acciones e hipótesis de carga, aparecen con mayor grado de detalle las combinaciones de cargas en los puertos.

1.11 Conclusiones Parciales

Una vez analizado las metodologías sobre el diseño y/o revisión de estructuras portuarias teniendo en cuenta los parámetros a seguir arribamos a las siguientes conclusiones:

1. Es importante la evaluación del efecto de la grúa sobre el puerto pues estas ejercen una gran fuerza hacia la estructura dependiendo de las condiciones medioambientales que existan en ese momento.
2. Se debe tener en cuenta el tipo de buque que realiza la acción de atraque y amarre, ya que todos no ejerce la misma fuerza hacia el muelle, siendo necesario en algunos casos de revisión la ejecución de pruebas de carga en el puerto.
3. Es necesario el estudio de los estados límites a que está sometido el puerto por la gran cantidad de factores que intervienen en su análisis y diseño.
4. En el estudio de los proyectos de investigación realizados en puertos Cubanos, el efecto del buque no se tiene en cuenta, pudiendo ser este un factor de extrema importancia.
5. En la literatura consultada se hace un estudio muy detallado de las combinaciones de cargas para el diseño de una estructura portuaria.

CAPÍTULO 2

Capítulo 2: Metodología para la Revisión de Puertos. Análisis de las cargas horizontales

2.1 Resumen

En el presente capítulo se realiza un análisis del efecto de las cargas horizontales que actúan sobre un puerto dando a conocer la secuencia de pasos para determinar dichas solicitaciones, se realizó un estudio de los proyectos realizados en nuestro país en el cual se ejecutaba la tareas de pruebas de cargas para la evaluación de los mismo y donde no se incluía el efecto de la carga horizontal provocada por el impacto del buque. Se elaboró un resumen de los aspectos a tener en cuenta en la revisión de otras obras estructurales y una propuesta metodológica para la revisión de estructuras portuarias haciendo énfasis en los efectos que provoca la grúa, y en el impacto del buque hacia el muelle.

2.2 Introducción

Las estructuras se diseñan para un período de tiempo y un sistema de cargas en dependencia de la función que realizan. Hoy en día es común que aquellas edificaciones que se diseñaron para un sistema de carga se les asigne un nuevo sistema, por lo que se hace necesaria su evaluación. Otro aspecto a tener en cuenta es la rehabilitación y el mantenimiento de las mismas, ya que está demostrado que el hecho de no tomar acciones de conservación puede acortar la vida útil de los elementos y por ende la estructura.

En nuestra investigación, realizamos un estudio de los proyectos realizados para la revisión estructural de los puertos en Cuba, y comparamos con otras metodologías consultadas en la literatura internacional, fundamentalmente para edificaciones y puentes, ya que para el caso de los puertos es escasa, y en lo mayorías de los casos consultados, la tendencia internacional es, la reparación capital de la estructura portuaria para el nuevo sistema de carga que se desee explotar.

2.3 Metodología para la revisión de puertos

Para la ejecución de la revisión de estructuras portuarias se debe realizar un estudio general de los agentes medioambientales o naturales y de los producidos por el hombre, muchos de estos parámetros son: la zona marítima donde se encuentra construido el muelle, el impacto de las corrientes, el viento, las mareas y las elevaciones del nivel del mar, la temperatura, los períodos y la excedencia de determinadas alturas de ola, también tenemos la solución de la

cimentación en correspondencia del suelo, la capacidad portante del terreno, la estabilidad de taludes, los efectos de carga producido por la grúa y los provocados por el buque contra el muelle. (Fernando Ortega Ángel y Martínez Clemente Mercedes año 1993; Guillermo Macdonel M y Julio Pindter V año 1999; Faltinsen, O.M; Sarpkaya, T and Isaacson, M año 1991).

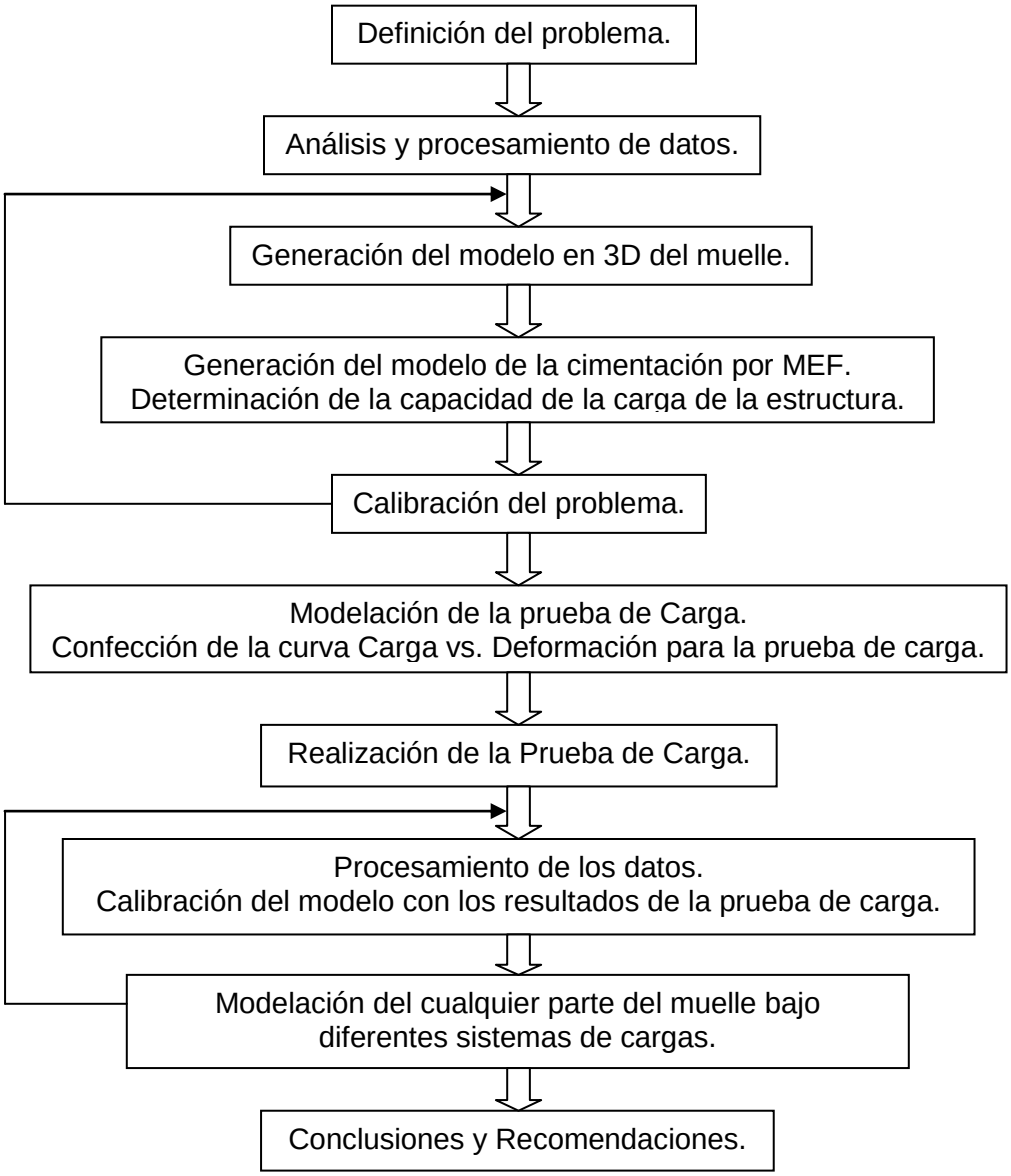


Figura 2.1 Metodología para la revisión de puertos

1. Definición del Problema.

En este punto se da a conocer la definición de la problemática que presenta el muelle por diferentes aspectos, como puede ser: la capacidad resistente del puerto por el atraque del

buque, los asentamientos de los cimientos por el almacenaje de mayores cargas la capacidad de carga de los cimientos en correspondencia de cómo está construido, entre muchos problemas más que pueden suceder en los puertos.

2. Análisis y procesamientos de datos.

En este aspecto se realiza un análisis de la estructura geométrica del muelle, así como su tipo de construcción, la solución de cimentación, el suelo donde está cimentado, qué acciones de fuerzas o cargas actúan sobre el puerto, como pueden ser los efectos de una grúa de menor tonelaje, con respecto a una de mayor tonelaje. Así como el manejo de varios buques de diferentes tonelajes y tamaño cuando ejecutan sus maniobras

3. Generación del Modelo en 3D del muelle.

En esto aspecto se realiza un esquema en 3D del muelle a través de programas computacionales, para obtener la forma y magnitud en que se distribuyen las solicitaciones sobre los elementos estructurales, cuáles son los pilotes que toman mayores cargas, qué profundidad debe tener hincado el mismo, en dependencia de la zona del terreno donde se ubicará, cuáles son los que toman las fuerzas producto del buque que tiene que retener, en qué posición la losa debe tener un mayor peralte y refuerzo de acero por las cargas que toma por la maniobrabilidad de la grúa cuando efectúa la tarea de descarga y transportación de mercancías.

4. Generación del modelo de la cimentación por MEF. Determinación de la capacidad de carga de la estructura.

A través de la modelación matemática y con el empleo de software con base en el MEF o MDF se modela el comportamiento individual de cada elemento que conforma el puerto y de su conjunto. En esta modelación se tienen en cuenta los sistemas de cargas para los cuales fue diseñado el puerto y su respuesta ante estas acciones.

5. Calibración del modelo.

En este se procede a realizar una calibración del modelo, discretizando la geometría de los diferentes elementos, evaluando las propiedades reales de cada material, hasta obtener una estructura que asemeje su comportamiento al comportamiento actual del puerto objeto de estudio. Se busca que la respuesta de la estructura sea lógica y se correspondan los valores de

deformación con los que tiene la estructura. A su vez se tiene en cuenta la disminución de resistencia de los materiales o pérdida de la geometría inicial de los elementos estructurales.

6. Modelación de la prueba de Carga. Confección de la curva Carga vs Deformación para la prueba de carga.

Con un modelo calibrado, se realiza una estimación del comportamiento de la estructura baja la acción de una caga o sistema de carga similar al de la futura prueba de carga, obteniendo la respuesta tenso deformacional para cada escalón de carga. Se busca la posición más crítica de la carga, y se estima una carga máxima de rotura, relacionad con una deformación máxima del elemento a ensayar en la prueba de carga.

7. Realización de la Prueba de Carga.

Esta tarea se realiza en los puntos definidos con anterioridad para comprobar las deformaciones que puede ocurrir en el mismo y las posibles recuperaciones elásticas o no de la estructura. Es importante destacar que la carga máxima del ensayo ha de permanecer 48 horas sobre el elemento o parte de la estructura ensayada una vez retirada se ha de verificar el comportamiento elástico o no elástico del sistema

8. Procesamientos de los resultados. Calibración del modelo con los resultados de la prueba de carga.

En este paso se comprueban los resultados obtenidos a escala real con la modelación realizada, ajustando en el caso de ser necesario el modelo, por diferentes razones como pueden ser: no exactitud en la geometría y propiedades de los elementos modelados, variabilidad de las características físico mecánicas del suelo para el caso de la cimentación y otro grupo de hipótesis iniciales del modelo que pueden ser válidas o no. Finalmente se cuenta con un modelo cuya respuesta baja la acción de un sistema de carga se corresponde con los resultados del ensayo de carga.

9. Modelación de cualquier parte del muelle bajo diferentes pruebas de cargas.

Teniendo un modelo calibrado, se procede analizar cualquier parte de la estructura bajo la acción de cualquier otro sistema de carga (de menor magnitud) en cualquier posición del puerto y se estima el comportamiento real de la estructura

10. Conclusiones y Recomendaciones.

Una vez calibrado el modelo y comprobada la veracidad del modelo empleado se define la carga de operación en la estructura, y las recomendaciones prácticas para su explotación.

Como ya fue objeto de estudios en el capítulo 1, en nuestra facultad se desarrolló una metodología general para la revisión de estructuras portuarias combinando técnicas de instrumentación, con la modelación matemática.

En la literatura internacional (Estructuras Marinas) se propone una secuencia de pasos similar a la anterior, pero dándole más peso al trabajo computacional y la modelación.

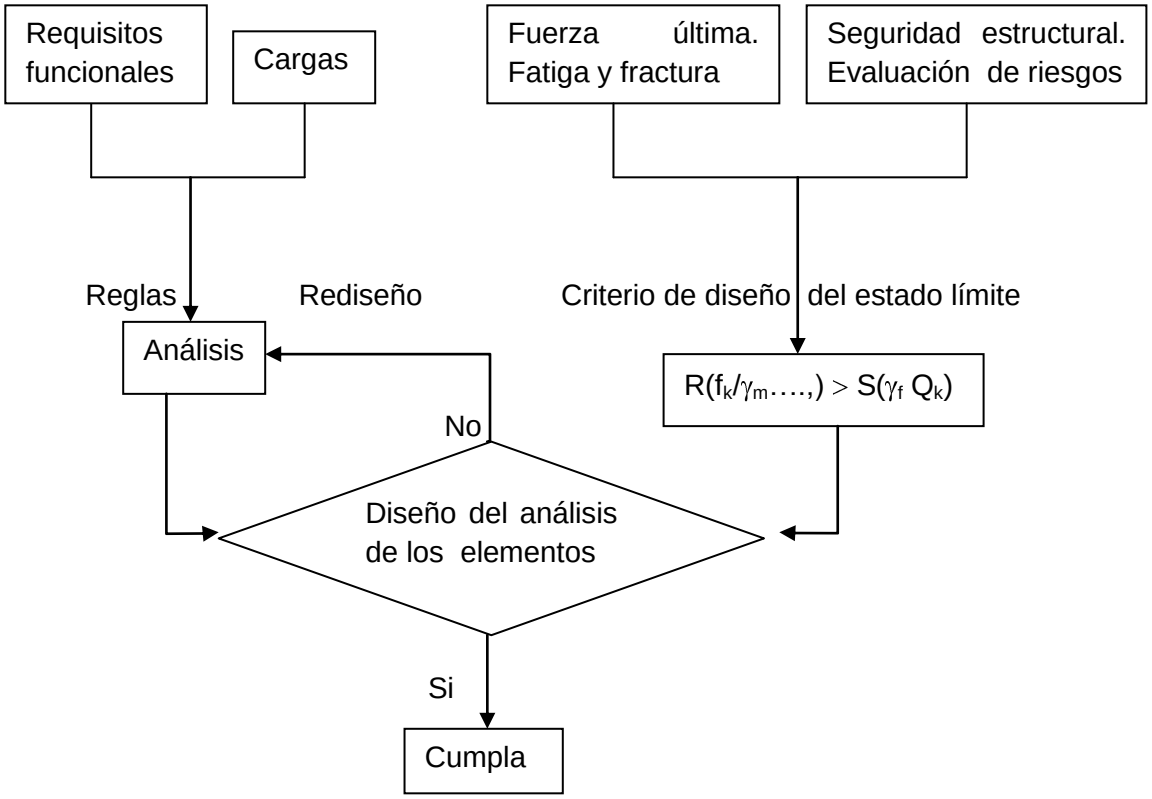


Figura 2.2 Teoría moderna de diseño de estructuras marinas.

2.4 Estudio de los proyectos realizados

A continuación se realiza un análisis de los proyectos realizados en nuestra facultad, destacando los aspectos más importantes tenidos en cuenta en los mismos y si se tiene en cuenta o no el efecto de la carga horizontal producida por el buque.

Ensayos de carga atraque # 8 "Osvaldo Padrón". Determinación de las deformaciones laterales del Muelle.

El Objetivo de este proyecto es determinar la deformación lateral de la viga de contención del atraque donde servirá de base para el almacenamiento de carga (tuberías y otros insumos), apoyados sobre dispositivos creados a dicho efecto de la grúa (Rack). Para ello se realizan modelación del comportamiento del atraque bajo la acción de dichas cargas y se comprobó la validez de dicho modelo con la realización de pruebas de carga a escala real, como fue la modelación del comportamiento de la tablestaca bajo la acción de las cargas permanentes (empuje de suelo y agua) y la evaluación de las deformaciones bajo la acción de cargas externas (prueba de carga).

En este proyecto tampoco se tuvo en cuenta el efecto que produce el buque hacia el muelle como una fuerza horizontal, el cual se debe tener en consideración por la gran importancia que tiene el mismo, cuando ejecuta la tarea de atraque y cuando se encuentra amarrado al muelle.

Proyecto de investigación. Cálculo de la cimentación de los tanques de almacenamientos en el puerto del Mariel.

El objetivo de este proyecto es determinar los asentamientos que pueden ocurrir en la cimentación de los tanques de almacenamiento a colocar en el puerto del Mariel en la zona oeste del mismo, para ello se ejecutó la prueba de carga colocando tanques evaluando los desplazamientos verticales de los cimentos, los espesores de los estratos equivalentes, los módulos de deformaciones y la comprobación de los giros que pueden ocurrir.

Este es otro de los proyectos donde tampoco se tuvo en cuenta el efecto que produce el buque hacia el muelle como una fuerza horizontal, el cual se debe tener en consideración por la gran importancia que tiene el mismo, cuando ejecuta la tarea de atraque y cuando se encuentra amarrado al muelle.

Estudio de la capacidad de carga del Atraque No. 8 del Puerto del Mariel para la manipulación de cargas mayores a 350 T.

El objetivo de este proyecto fue evaluar la capacidad resistente del muelle del "**Puerto del Mariel**" en el cual se realizó un estudio, partiendo de los datos y la información utilizada en proyectos anteriores en dicho puerto. En este caso se dispuso de una gran cantidad de evaluaciones como fueron:

- Modelación de la carga actuante a nivel de cada pilote (Influencia de la rigidez del cabezal, espaciamientos y acción de las cargas móviles).

- Cálculo de la capacidad resistente del pilote aislado (carga de rotura y de carga de trabajo).
- Cálculo de la capacidad resistente por métodos basados en la teoría de la plasticidad (Métodos estáticos).
- Modelación por Elementos Finitos de la capacidad de carga del pilote.
- Chequeo estructural del pilote.
- Cálculo de la capacidad de carga del pilote bajo la acción de cargas horizontales.
- Cálculo de los asentamientos de la cimentación.
- Cálculo de la capacidad estructural de las vigas.
- Cálculo de las deformaciones y la fisuración.
- Cálculo de la capacidad estructural de las losas.

En este trabajo tampoco se dispuso de la evaluación del efecto del buque hacia el muelle, como una fuerza horizontal que ejerce hacia el puerto producto de la acción cuando el mismo realiza el atraque y cuando está amarrado.

Proyecto de Investigación. Estudio de la capacidad de carga de pilotes. Puerto de Pastelillo. Nuevitas. Camagüey.

En este proyecto el objetivo fue evaluar la distribución de cargas a nivel de pilotes del Muelle de Pastelillo una vez que se haya reparado. En dicho atraque se valora la posibilidad de reutilizar la cimentación para la construcción de un muelle de carga y descarga del MINAZ. Obteniendo las deformaciones que ocurren bajo la carga para que no puedan ocasionar problemas en la losa del muelle, la consideración de utilización del muelle para una carga máxima permisible.

Este es orto de los proyectos en el cual no se evaluó el efecto del buque hacia el muelle, como una fuerza horizontal que ejerce hacia el puerto producto de la acción cuando el mismo realiza el atraque y cuando está amarrado.

Estudio de la capacidad resistente de la tablestaca del Muelle de la fábrica de Cemento José Mercerón de Santiago de Cuba.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar a través de la modelación matemática el comportamiento de la tablestaca del puerto de la fábrica de Cemento José Mercerón. Con dichos resultados se procederá a la modelación y recomendaciones para la realización de una prueba de carga "in situ" que permita validar o correlacionar los resultados del modelo propuesto con el comportamiento real de la estructura. Para ellos se realizan las siguientes tareas generales:

Análisis de los datos e invariantes.

Modelación de la estructura.

Modelación de la estructura bajo diferentes sistemas de carga.

- Cálculo de la capacidad resistente de la tablestaca por métodos clásicos.
- Cálculo de la capacidad resistente de la tablestaca por métodos numéricos MEF.

En este trabajo tampoco se tomó la tarea de evaluar el efecto del buque hacia el muelle, como una fuerza horizontal que ejerce hacia el puerto producto de la acción cuando el mismo realiza el atraque y cuando está amarrado.

Estudio de la prueba de Carga del Muelle José Mercerón de Santiago de Cuba bajo la acción de la Grúa RAIMONDI.

Este informe tiene como objetivo validar con los resultados de las mediciones in situ el pronóstico presentado en el informe de enero del 2009 sobre la capacidad del muelle José Mercerón para soportar la instalación y operaciones de la grúa torre RAIMONDI LR 165. Para ellos se realizan las siguientes tareas generales:

Inspección visual del puerto.

Realización de la prueba de Carga (6 al 10 de febrero 2009).

Análisis de los resultados de la Prueba de Carga.

Calibración de los resultados con la nueva carga generada por la Grúa.

En este informe tampoco se tuvo en cuenta el objetivo de evaluar el efecto del buque hacia el muelle como una fuerza horizontal, el cual se debe tener en consideración por la gran importancia que tiene el mismo, cuando ejecuta la tarea de atraque y cuando se encuentra amarrado al muelle.

A manera de resumen como se puede apreciar, en ninguno de los proyectos realizados se evaluó la acción de la carga horizontal producida por el buque. La razón fundamental está relacionada a que se parte de la hipótesis que estos puertos van a mantener la explotación de

buques para los cuales fueron diseñados, sin embargo, la utilización de nuevos buques de mayor tonelaje, implicaría realizar un análisis de la carga horizontal.

El efecto de la grúa o nuevo equipo de izaje se realizó teniendo un cuenta las posiciones más críticas de la grúa, pudiéndose haber tenido en cuenta las recomendaciones de la ROM, sustituyendo la carga puntual de la grúa, por una carga equivalente.

2.5 Revisión de obras estructurales. Edificaciones

En la literatura consultada para obras estructurales se propone primeramente el cumpliendo de programas de mantenimiento o la evaluación de la obra después de la ocurrencia de un evento. La evaluación de la estructura (edificaciones) se divide en varias etapas; Evaluación primaria, Detallada o Secundaria y Proyecto de Rehabilitación. (Artículos Corrosión de los elementos de hormigón armado, Manual de Aprobación de la Seguridad de las Obras de Ingeniería (MASOI) y el de Mellado Díaz y María Elena Riveira Ares; Norma Mexicana Inspección 2007; Feliú, S. Andrade año 1999).

La Evaluación Primaria está compuesta por un informe cualitativo de la obra, se debe hacer una inspección sencilla en campo y llenar una planilla de inventario que genera un primer informe de mantenimiento y complementa una base de datos. Contempla las condiciones normales de la obra al momento de la evaluación, materiales, componentes, daños, estado de mantenimiento, operatividad, etc. Va dirigida fundamentalmente a la determinación de los daños existentes en el momento de la evaluación.

Normalmente los métodos de evaluación son del tipo cualitativo (cantidad del deterioro) y cuantitativo (gravedad del deterioro) que permiten de una manera clara, simple y ordenada encarar el problema de evaluar una obra en su condición de uso por simple inspección ocular, ayudado con la instrumentación necesaria, generar tres índices que interpretan el estado de deterioro de la estructura en interrelación con el ambiente condicionante y son los siguientes:

Índice de Daños (ID): es el daño existente en los elementos de la obra por los factores estáticos en el momento de hacer la inspección evaluativa.

Índice de Severidad (IS): es la acción de los agentes exteriores que causan los daños sobre los elementos de la estructura, representa los factores dinámicos de la evaluación.

Índice de Vulnerabilidad (IV): es el nivel de pérdida de uno o de varios elementos estructurales esenciales de la obra al ser sometidos al riesgo de un evento, representa la combinación de los

índices de daños y de severidad formando un par ordenado que interpreta la realidad física de la obra, pudiéndose representar por un número porcentual único para cada estructura.

En las obras, para la evaluación de los aspectos de cantidad de deterioro se utiliza una matriz, cuyos elementos simbólicos reúnen en sí las dimensiones de la observación, generan la apreciación del grado de deterioro de la estructura y entre paréntesis la categoría de deterioro. En función de la categoría del deterioro se toman acciones de mayor o menor envergadura. Se introduce el concepto de estados límites de desempeño, estos son estados donde se superan las condiciones de diseño, comienzan (ver **Figura 2.3.**) en A planteando un estado límite de servicio en el rango elástico u operacional, donde después de un evento característico no hay que reparar nada y los peritos evaluadores dan la orden de ocupación inmediata, se obtienen márgenes menores al 5% de los daños. Un segundo límite en B correspondiente a daños menores genera la utilización de programas de mantenimiento integral con porcentajes de reparación hasta de un 20% de daños.

Un tercer estado límite se puede tomar en C donde se obtienen daños moderados hasta de un 40% y se debe proceder a encontrar las causas subyacentes de los daños estructurales. El siguiente corresponde al punto D o máximo soporte de capacidad portante de la edificación ó límite de seguridad donde se recomienda la desocupación del inmueble por tener hasta un 60% de daños estructurales y la obra entra en un periodo de prevención de colapso o etapa para salvaguardar recursos y vidas, es un margen de seguridad, las rehabilitaciones de la estructura normalmente son a largo plazo. Por último en E o límite de colapso donde la edificación esta por caer por el agotamiento de la estructura si es que no se ha caído ya.

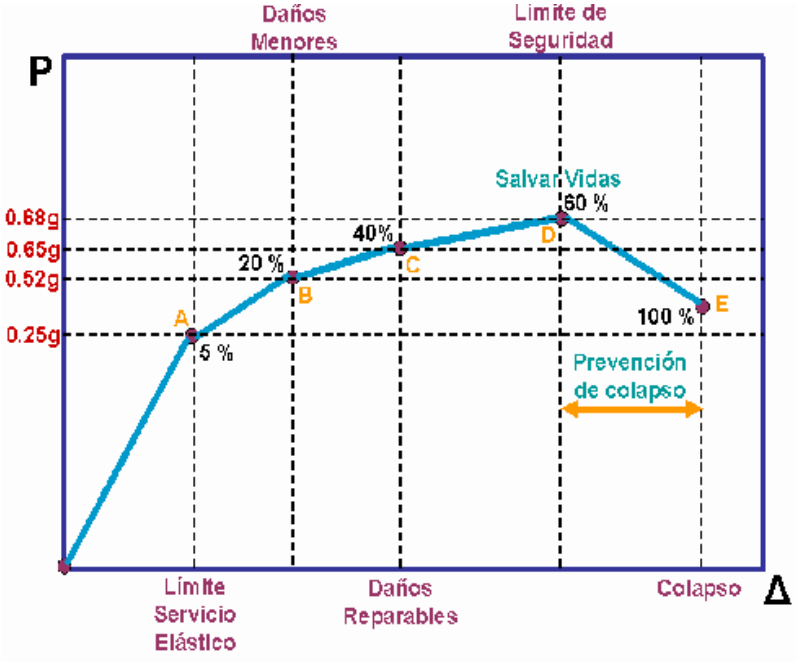


Figura 2.3 Estados Límites de Desempeño.

La evaluación Detallada o Secundaria. La evaluación detallada se basa en el cálculo de las relaciones Capacidad / Demanda donde cada construcción tiene elementos específicos que deben ser revisados y cada uno tiene una relación de C/D. Los elementos evaluados deben tener relaciones de C/D < 1, si la relación es menor de 1 el elemento tiene que ser tratado de forma especial y debe ser rediseñado. De la evaluación detallada se generan los Proyectos de Rehabilitación.

El resultado de la evaluación detallada me indica el estado general de la obra como un aporte de todos los elementos particulares, generando expresiones que indican un porcentaje (%) total de vulnerabilidad. La demanda está dictada por las normas específicas y las capacidades por modelos estructurales de software lo más aproximados posibles al estado actual de la edificación. La evaluación detallada concluye con recomendaciones que deben de ser resueltas bajo el criterio del consultor y el grado de vulnerabilidad general que presenta la obra directamente en un programa de reparación o en un Proyecto de Rehabilitación.

Proyecto de rehabilitación. Es la etapa en que se hace que una Obra Civil vuelva a tener las mismas o mejores condiciones de servicio que las que tenía cuando comenzó su vida útil. Las técnicas de rehabilitación pueden ser reversibles o irreversibles, en la primera se trata de que la edificación obtenga nuevamente su capacidad portante reforzando los elementos sin

intervención de elementos nuevos, solo reparación de elementos dañados, que en su conjunto mejoran la ductilidad de la edificación, la resistencia y rigidez de los diafragmas. Las técnicas irreversibles comprenden la adherencia de elementos nuevos para reforzar la obra evaluada con inyecciones y vaciados, elementos adheridos, morteros, reparación de juntas de construcción, reconstrucción de partes, incorporación de barras de refuerzo y reforzamiento de fundaciones.

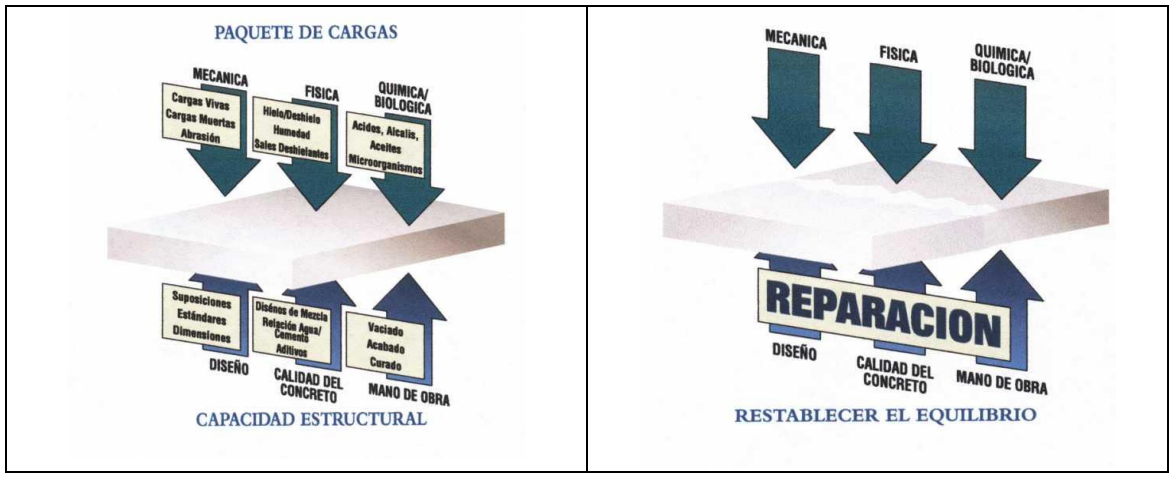


Figura 2.4 Acciones sobra las edificaciones

2.6 Determinación del estado actual de una edificación. Aspectos a tener en cuenta en la revisión de edificios

1. Las acciones de todo tipo, directas o indirectas (influencias) con los siguientes criterios:

a) El peso propio de los elementos podrá comprobarse en obra, adaptándose en consecuencia, los valores adoptados inicialmente, de acuerdo con la información previa.

b) Las sobrecargas de uso dependerán del uso futuro de la obra, pudiendo adoptarse, a efectos de la evaluación modelos específicos adaptados al caso estudiado (normalmente menos conservadores que los modelos correspondientes). En estos casos, se adoptarán disposiciones adicionales con el fin de asegurar que no se sobrepasen los valores extremos establecidos.

c) Las acciones climáticas a tener en cuenta pueden determinarse a partir de mediciones directas efectuadas en estaciones meteorológicas representativas para la obra objeto de la evaluación estructural, durante un periodo de tiempo adecuado. En este caso, en la determinación de estas acciones se tendrá en cuenta que sus efectos extremos no se pueden deducir directamente de los valores medidos. En el ajuste de los valores extremos se podrá tener en cuenta el período de servicio restante.

d) Se tendrán en cuenta las influencias ambientales de origen físico, químico o biológico que puedan afectar a las características de los materiales o a la resistencia de los elementos estructurales, así como los posibles cambios en las mismas que puedan producirse como consecuencia de una intervención. En los casos en los que existan incertidumbres, se determinarán mediante inspecciones, ensayos o mediciones.

2. Las dimensiones de la obra, recopilando los datos de la misma y de los elementos estructurales, cuando la información disponible carezca de ellos, cuando se hayan realizado modificaciones y no exista documentación fiable al respecto, o cuando se observen discrepancias entre la información disponible y la situación real.

3. Características de los materiales empleados. Cuando las características de los materiales no se puedan deducir de manera fiable a partir de la información disponible, se determinarán mediante ensayos no destructivos o destructivos a partir de muestreos estadísticamente representativos, que tengan en cuenta el uso del edificio, así como las influencias ambientales.

4. El sistema estático y el comportamiento estructural, con los siguientes criterios:

a) Se comprobarán en obra las condiciones de todo tipo que resulten determinantes para el comportamiento estructural, como las condiciones de apoyo, empotramientos, libertad de movimiento de apoyos y juntas o la capacidad de deformación.

b) Cuando se determine experimentalmente el comportamiento estructural (estático o dinámico) de un edificio, en la evaluación e interpretación de los resultados se tendrá en cuenta que los ensayos se realizan con cargas de servicio, mientras que la capacidad portante se debe evaluar para estados más avanzados de carga.

5. Los daños y anomalías existentes: deformaciones, desplazamientos, corrosión, fatiga y envejecimiento en general.

2.7 Revisiones de edificios

1. Levantamiento de obra gruesa.

Mediciones de dimensiones geométricas de pilares y vigas. Mediciones de espesores de muros y losas. Inspección de existencia de grietas y deformaciones por asentamientos diferenciales en la estructura.

Estas tareas tienen como objetivo validar la información disponible en los planos de diseño del edificio. Determinar la existencia de grietas y deformaciones por asentamientos diferenciales en la estructura.

2. Verificación de estado de juntas de dilatación.

Inspección de estado de juntas de dilatación entre cuerpos del edificio. Se verificará la existencia de escombros y elementos que cruzan la junta de dilatación.

Esta tarea tiene como objetivo determinar el estado de las de dilatación entre cuerpos del edificio.

3. Verificación de estado de escaleras.

Inspección de materialización de las juntas de dilatación indicadas en los planos de diseño. Inspección de daños producidos en sismos anteriores y evaluación del estado actual. Evaluación de interacción con estructura principal.

Estas tareas tienen como objetivos recopilar la información necesaria para la evaluar la vulnerabilidad sísmica de las escaleras del edificio.

4. Selección de sitios a Auscultar.

Determinación de las zonas donde se efectuará el destape de barras, extracción de testigos de hormigón y acero e edificaciones de detallamiento estructural.

Su objetivo es establecer los sitios más adecuados para la inspección visual de corrosión, medición de profundidad de carbonización de detallamiento estructural.

5. Verificación de dimensiones físicas.

Comparación de armaduras dispuestas en obras ver sus armaduras especificaciones en planos de diseño. Se verificará tanto el número como el diámetro y ubicación de las barras longitudinales y transversales dispuestas en obra. Verificación de la pérdida de secciones del refuerzo longitudinal y transversal. Medición de separación entre barras de refuerzo transversal y longitudinal. Medición de longitud y ángulo de doblado de ganchos símicos. En forma complementaria y mediante el uso de pacómetro, se estudia la ubicación de las armaduras de pilares, vigas, nudos y muros, en sectores donde se ha efectuado el destape de barras.

Su objetivo es verificar el cumplimiento de detallamiento estructural especificado en los planos de diseño del edificio.

2.8 Metodología propuesta para la revisión de puertos

A continuación se analizan algunos aspectos a tener en cuenta en la revisión de estructuras portuarias y que complementan la metodología propuesta en el Capítulo 1 de este trabajo.

2.8.1 Efecto de carga producido por la grúa

Para ello se consultó la Norma Española del año 2002, ROM0.2-90: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias) y dentro de esta:

TABLA 3.4.2.3.2.1. *(CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS EQUIPOS SOBRE CARRILES: GRÚAS PÓRTICO.)*

TABLA 3.4.2.3.2.2. *(CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS. EQUIPOS SOBRE CARRILES: GRÚAS PORTACONTENEDORES.)*

TABLA 3.4.2.3.2.3. *(CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS. EQUIPOS SOBRE NEUMÁTICOS Y ORUGAS.)*

Estas tablas están presentes en los anexos del trabajo.

2.8.2 Efecto que produce el buque hacia el muelle producto del viento

A continuación se muestra en forma de resumen el efecto que produce el viento sobre el buque.

Para ello se consultó la tabla **3.4.2.3.5.9.** *(ESFUERZOS RESULTANTES DE LAS PRESIONES DEL VIENTO SOBRE LOS BUQUES.)*, de la Norma Española del año 2002, *ROM0.2-90*: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias)

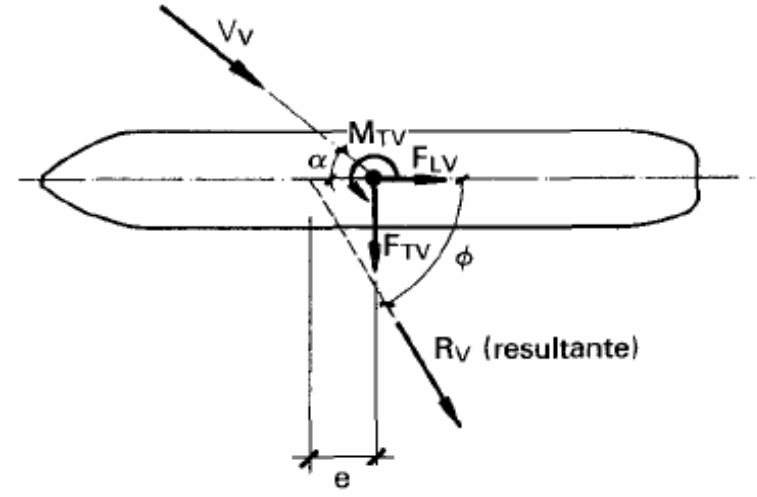


Figura 2.5 Efectos del buque producto del viento

$$R_v = [(\rho/2g)*C_V*V^2_V - (C_V*V^2_V)/16000] * (A_T cos^2\alpha + A_L sen^2\alpha)$$

$$tan\emptyset = (A_L/A_T)* tan\alpha$$

$$F_{LV} = R_v * cos\emptyset$$

$$F_{TV} = R_v * sen\emptyset$$

$$M_{TV} = F_{TV} * e = F_{TV} * K_e * L$$

Siendo:

Rv = Fuerza resultante horizontal, en t.

Ø = Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación el viento, en grados.

F_{TV} = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante, en t.

F_{LV} = Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, en t.

M_{TV} = Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, en t*m.

ρ= Peso específico del aire ($1{,}225 \cdot 10^{-3}$ t/m^3).

g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2).

Cv = Factor de forma (a dimensional).

Puede variar entre 1,0 y 1,3.

A falta de una determinación más precisa mediante estudios en modelo, se adoptará el valor 1,3 para cualquier forma del buque y dirección de actuación del viento.

α= Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación el viento, en grados. Se considerará que el viento puede actuar en cualquier dirección.

Vv = Velocidad básica horizontal del viento de proyecto correspondiente a 10 m de altura, en m/s, supuesta constante para toda altura.

Se adoptará como velocidad básica la velocidad media del viento determinada en el intervalo (ráfaga) más corto capaz de vencer la inercia del buque. Podrá adoptarse una velocidad media correspondiente a ráfagas de:

- 1 minuto para buques de eslora igual o mayor de 25 m.

- 15 segundos para buques de eslora menor de 25 m.

Para instalaciones que consideren la permanencia de los buques en todo momento se adoptará como velocidad básica (Vv) la correspondiente al valor extremo asociado al máximo riesgo admisible (Vv15s o Vv1min según el tipo de buque).

La determinación de los valores extremales asociados a máximos riesgos admisibles se realizará según los criterios del apartado 3.4.2.4. Cargas Medioambientales, y de la ROM 0.4. *(Recomendaciones para la consideración de variables medioambientales /II: Condiciones atmosféricas y sísmicas).* Si los valores de las velocidades de ráfaga no pueden diferenciarse por direcciones se considerará que los valores escalares señalados son válidos para todas ellas. Este apartado se muestra a continuación.

Para instalaciones en que los criterios de explotación establecidos no permitan la permanencia de los buques en todo momento o estado se adoptará como velocidad básica aquella expresamente definida como condición límite de permanencia de buques en los atraques, asociada, o no, a una configuración determinada del buque (por ejemplo. lastrado del buque para reducir su superficie expuesta). A falta de criterios de operatividad definidos se adoptará

como velocidad límite de permanencia, sin la adopción de medidas reductoras por variación de la configuración del buque, la correspondiente a:

Vv1min = 22 m/s (≈ 80 km/h).

Siempre y cuando exista la disponibilidad de remolcadores con una tracción a punto fijo del 150% de la fuerza máxima resultante del viento sobre el buque.

Para el cálculo del amarre en condiciones normales de operación (carga y descarga, instalaciones de manipulación de mercancías, funcionado, etc.) se adoptará a falta de criterios específicos de operatividad, una velocidad de proyecto igual a:

Vv1min = 17 m/s (≈ 60 km/h.).

A_T = Área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento, en m^2.

A_L = Área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento, en m^2.

A falta de valores conocidos dichas áreas podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

$A_T = B \cdot (G + h_T)$

$A_L = Lpp \cdot (G + h_L)$

Siendo:

B = Manga del buque.

G = Francobordo del buque = Puntal - Calado.

Lpp = Eslora entre perpendiculares del buque.

h_T = Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano transversal.

h_L = Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano longitudinal.

Los valores usuales de B, G y Lpp para el buque de proyecto a plena carga podrán ser obtenidos a partir de la tabla 3.4.2.3.5.1.Esta tabla está presente en los anexos.

Para buque en lastre mínimo el calado podrá aproximarse mediante:

*(Calado) en lastre = α * (calado máximo)$^{\beta}$*

Para los siguientes valores de α y β, y calados en m.

Tipo de buque	α	β
Granelero hasta 200.000 TPM	0,551	0,993
Petrolero hasta 300.000 TPM	0,548	0,966
Mercante General hasta 50.000 TPM	0,352	1,172

Tabla de los valores de α y β

La determinación de francobordos y calados de buques en carga parcial, y de aquellos no contemplados en la tabla anterior, podrá realizarse suponiendo que se mantiene constante el coeficiente de bloque del buque en todos los estados de carga.

Los valores usuales de h_T y h_L podrán aproximarse a partir de la tabla siguiente, según el tipo de buque de proyecto:

Ke = Coeficiente de excentricidad (a dimensional).

Los valores del coeficiente de excentricidad podrán aproximarse a partir de la tabla siguiente, a falta de datos específicos:

BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA		
	Ke	
α (en ^{0})	En lastre	A plena carga
0	0	0
30	0,15	0,10
60	0,05	0,03
90	0,02	0,02
120	-0,10	0,10
150	-0,20	0,20
180	0	0

BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA		
	Ke	
α (en ^{0})	En lastre	A plena carga
0	0	0

30	0,16	-0,10
60	0,05	-0,12
90	0,04	-0,16
120	-0,18	-0,27
150	-0,33	-0,37
180	0	0

Tabla **3.4.2.3.5.9. b)** Coeficiente de excentricidad

L = Eslora del buque, en m.

NOTA:

Cuando varios buques estén amarrados a ambos lados de una obra de atraque o abarloados, los esfuerzos resultantes de las fuerzas del viento sobre el buque a resguardo podrán aproximarse al 50% de los obtenidos para el buque expuesto.

Apartado 3.4.2.4 *CARGAS MEDIOAMBIENTALES (Q_{Mk})*

Definición

Se definen como Cargas Medioambientales aquellas cargas debidas a la actuación directa sobre la estructura resistente o sobre elementos no estructurales que incidan sobre ella, de fenómenos naturales, climáticos o medioambientales; independiente de que dichos fenómenos puedan afectar o influir en la determinación de otras cargas variables o accidentales (por ejemplo. en cargas de atraque y amarre, cargas de equipos e instalaciones de manipulación de mercancías, cargas térmicas,...).

La incidencia de las acciones medioambientales en la valoración de otras cargas variables o accidentales y las condiciones de actuación aplicables se analizan en los apartados correspondientes a dichas cargas, teniendo en cuenta las hipótesis de combinación de acciones consignadas en la Parte 4. Bases de Cálculo.

Se diferenciarán en:

- Acciones del oleaje (Q_{M1}).
- Acciones de las corrientes (Q_{M2}).
- Acciones debidas a las mareas y demás variaciones del nivel de las aguas (Q_{M3}).

- Acciones del viento (Q_{M4}).
- Acciones debidas a la presión atmosférica (Q_{M5}).
- Acciones debidas a la temperatura del aire y del agua (Q_{M6}).
- Acciones debidas a las precipitaciones (Q_{M7}).
- Acciones sísmicas (Q_{M8}).

Determinación

Los valores característicos de las acciones medioambientales deberán ser preferiblemente determinados a partir de datos estadísticos referentes a los parámetros que constituyen el origen físico de la acción (por ejemplo. velocidad media del viento determinada en un intervalo de tiempo para las acciones de viento, o la altura de ola para las acciones del oleaje) o a la acción misma, para cada una de las fases de proyecto e hipótesis de trabajo consideradas.

Únicamente en aquellos casos en que no se disponga de una base de datos suficiente y fiable podrán adoptarse métodos empíricos o modelos desarrollados para la previsión y cuantificación de dichas acciones.

Para condiciones normales de operación los valores característicos de las acciones medioambientales vendrán definidos generalmente por las condiciones límite de operatividad o explotación de la instalación analizada.

Los criterios generales aplicables para la determinación y combinación de dichas acciones (fundamentalmente modelos de determinación de los valores representativos de la acción y criterios de riesgo), se consignan en el apartado 3.2.3. Valores representativos de las cargas variables.

Dada la importancia de las cargas medioambientales en el dimensionamiento de las obras marítimas y portuarias, y la necesaria amplitud de tratamiento en la descripción y parametrización de los fenómenos naturales causantes de dichas acciones y de las acciones mismas, se desarrollan Recomendaciones específicas para este tipo de acciones. Dichas Recomendaciones son:

. ROM 0.3. Recomendaciones para la consideración de variables medioambientales/I: Oleaje, corrientes, mareas y demás variaciones del nivel del agua.

. ROM 0.4. Recomendaciones para la consideración de variables medioambientales/II:

Condiciones atmosféricas y sísmicas.

En estas Recomendaciones se incluyen todos los datos necesarios para la completa definición.

2.9 Metodología de pasos para la revisión de puertos

A continuación se propone una nueva metodología para la revisión de puertos donde se incluye la Fuerza horizontal.

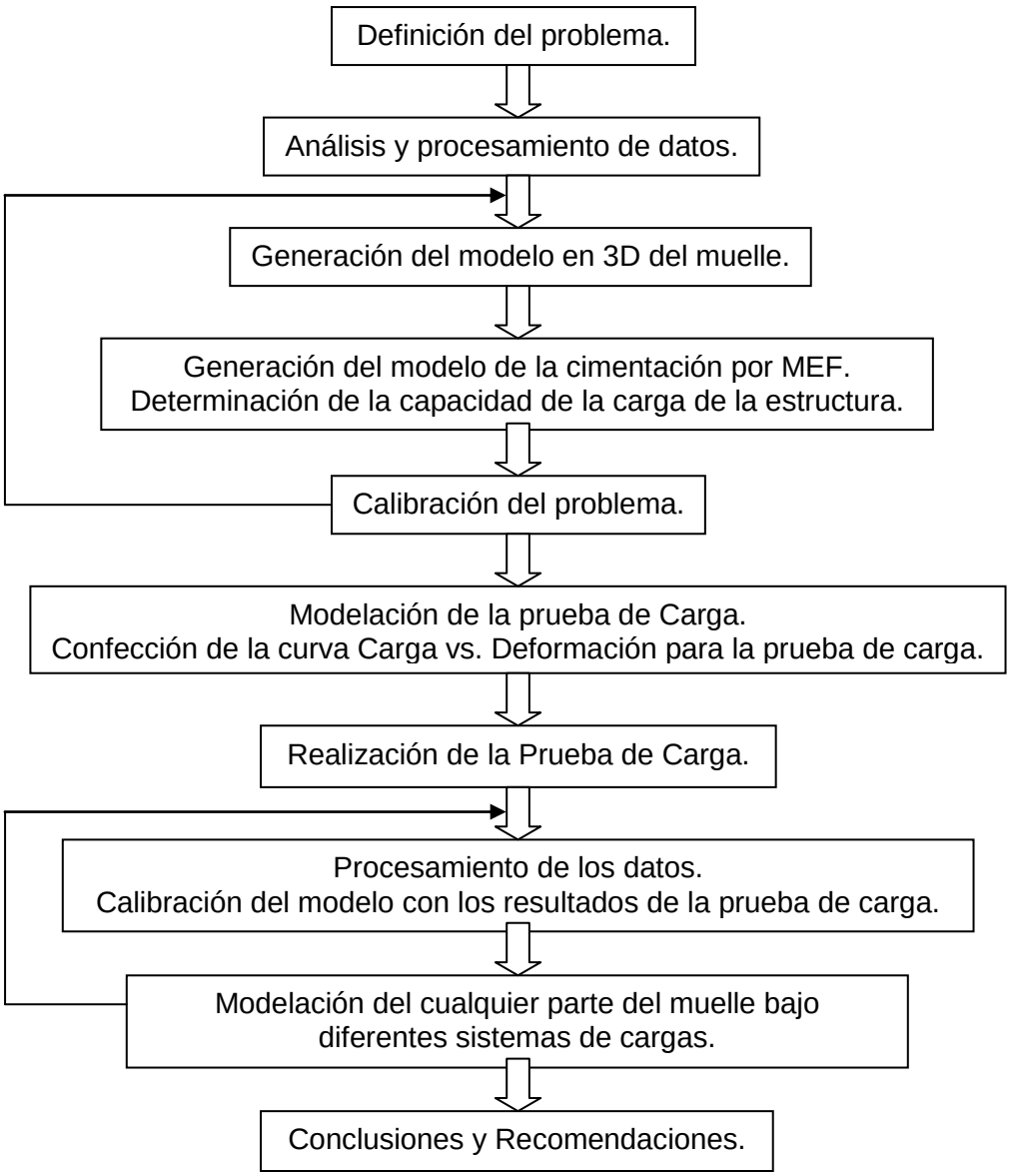


Figura 2.6 Metodología de pasos para la revisión de puertos.

Secuencia de Pasos Propuesta

Paso 1

a) Análisis de los Informes Ingeniero Geológicos del lugar.

b) Inspecciones y monitoreo de la instalación.

Con estas inspecciones se podrá lograr los siguientes aspectos:

1. Establecer una línea base de las condiciones contra las cuales inspecciones futuras serán evaluadas.

2. Identificar los cambios en la apariencia, posición y condiciones que rodean las instalaciones, lo cual permita una atención requerida con la finalidad de mantener un nivel de servicio determinado.

3. Establecer el estado de la estructura y las condiciones que la rodean después de un evento significativo el cual pueda haber tenido un efecto en su integridad o apariencia.

Fase de una inspección. (Metodología integrada para la revisión de evaluación de impacto MIREIA).

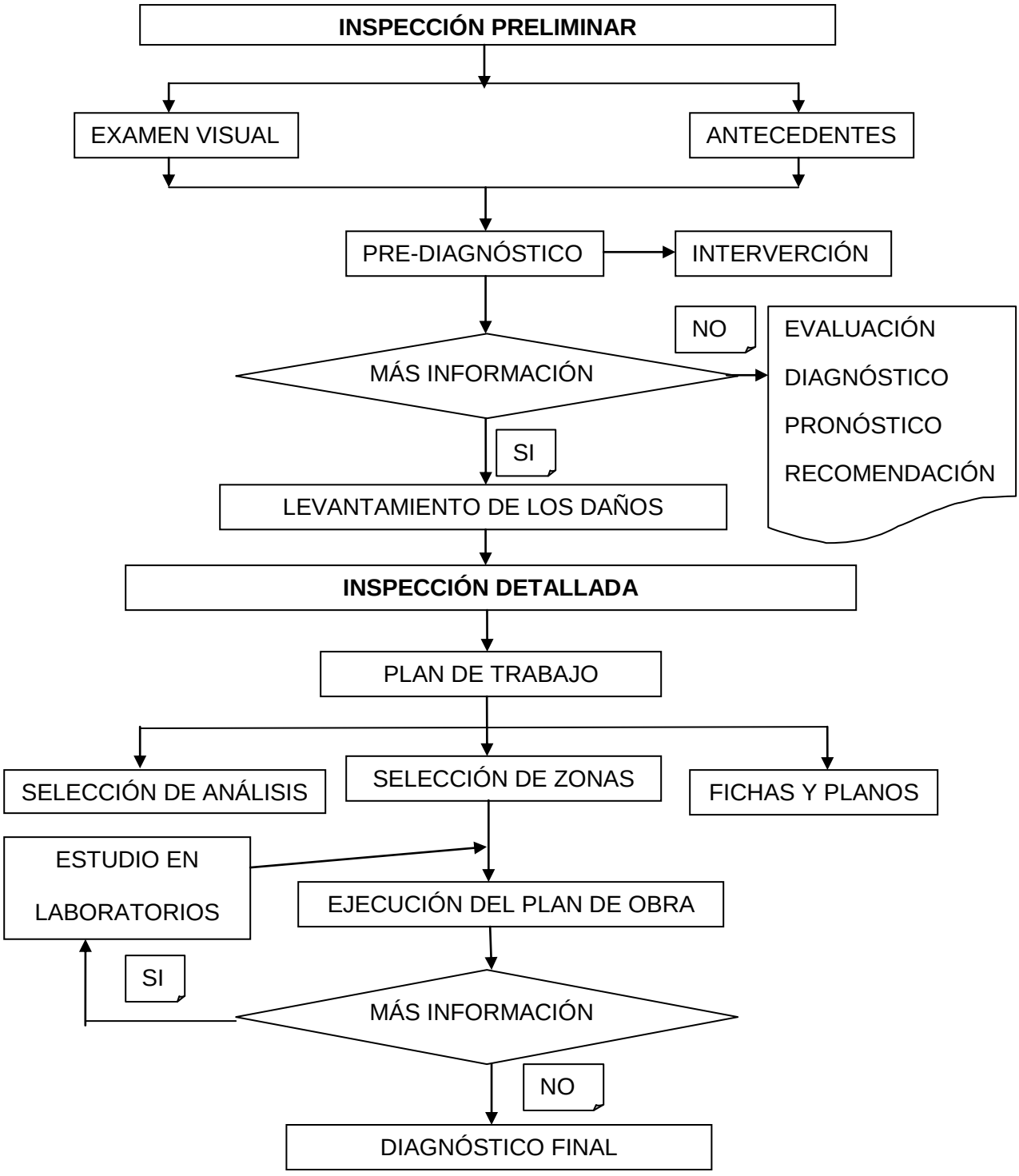


Figura 2.7 Fase de inspecciones de puertos

En dependencia de la profundidad y de frecuencia con que se realicen las inspecciones, se debe clasificar de las siguientes maneras:

- Inspección superficial.
- Inspección general.
- Inspección principal.
- Inspección especial.

Paso 2. Clima Marino y Meteorología

Condiciones climatológicas que afectan la instalación:

- Las alturas, los períodos y la excedencia de determinadas alturas de ola.
- Las mareas y las elevaciones del nivel del mar.
- Las corrientes.
- El viento.
- La lluvia.
- La niebla.
- La temperatura.

Condiciones del terreno sobre el que está construido el muelle.

Las propiedades (parámetros) del medio físico y de los materiales.

Los agentes que pueden interferir con la obra y el entorno y sus acciones.

Paso 3. Sistema Constructivo

Determinación de la solución del sistema constructivo que posee la instalación.

- ¿Qué tipo de construcción tiene el muelle?
- ¿Qué solución de cimentación tiene el mismo, y porque asume este tipo?
- ¿Qué dimensiones y materiales presenta?
- Edad que asienta el muelle y los años de explotación.

Paso 4. Geología y Geotecnia

Profundizar en el conocimiento de las características de los terrenos donde se ubica. Donde no se deben admitir equivocaciones de la naturaleza y la situación de los niveles de los diferentes terrenos, para ello se realizan las acciones de:

- La capacidad portante del terreno.
- La estabilidad de los taludes.
- Las actuaciones para mejorar los terrenos.
- Los procesos de ejecución de cimentaciones profundas.

Paso 5. Cálculo de carga que genera la grúa

Se debe tener en cuenta las cargas generadas por la grúa para las condiciones de trabajo que presenta:

a) Para Condiciones Normales de Operación:

La combinación de las cargas para el equipo en servicio sin la acción de viento;

Peso Propio + Carga de Servicio.

La combinación de las cargas del equipo en servicio con la acción de viento límite de operatividad;

Peso Propio + Carga de Servicio + Viento límite de Operatividad.

A falta de criterios de Operatividad definidos se adoptará como viento límite de operatividad para los equipos de elevación aquel cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de (80 km/h), (22m/s); actuando en la dirección que produzca los efectos más desfavorables para una posición determinada de la carga de servicio.

b) Para Condiciones Extremas de Operación:

Se toman 2 tipos de solución de trabajo:

- Equipos fijos o de rodadura restringidos (equipos sobre carriles o sobre bandas de rodadura); cuando son superadas las condiciones medioambientales límites de operatividad, el equipo paraliza sus actividades adoptando la posición de menor superficie expuesta, pudiéndose asegurar contra el arrastre mediante dispositivo de amarre.

La combinación de carga para este caso es Peso Propio + Viento de Condiciones Extremas, para viento (ráfaga) superior a los 80 km/h.

- Equipos sin movilidad restringida (por ejemplo equipo sobre neumáticos) cuando las condiciones límites de operatividad son superadas, estos equipos son resguardados en zonas seguras sin la necesidad de considerar condiciones de hipótesis de carga.

c) Para Condiciones Excepcionales de Operación.

Estas son las causadas por accidentes entre el equipo de izaje (grúa) y el buque.

- Equipo en Servicio bajo el efecto de una colisión (con el buque, con otro equipo): Peso Propio + Carga de Servicio + Colisión.
- Equipos Fuera de Servicio en Condiciones Medioambientales Excepcionales: Peso Propio + Viento en Condiciones Excepcionales.

Paso 6. Cálculo de carga que genera el buque

Los principales causantes que provocan las cargas transmitidas por el buque hacia el muelle cuando atraca y cuando está amarrado son:

- Viento.
- Corrientes marinas.
- Oleaje.
- Resonancia por fenómenos de ondas largas.
- Mareas.
- Ubicación del amarre en zonas con flujos o reflujos importantes de agua.

- Paso de otros buques.
- Carga y descarga del buque.

2.10 Conclusiones Parciales

Una vez obtenido la metodología para la revisión de puertos con respecto a los parámetros fundamentales para su estudio arribamos a las siguientes conclusiones:

1. En la evaluación de las estructuras portuarias cuando se ejecuta las pruebas de cargas es importante también evaluar la carga horizontal ejercida por el buque producto la acción del viento, pues esta afecta a varios elementos del puerto como son los pilotes, la cimentación entre otros elementos.
2. En la revisión de los puertos es importante tener en cuenta la metodología propuesta para la obtención de una mayor garantía de los puertos con respecto a su capacidad de carga y explotación.
3. Tanto como en otras obras estructurales como en los puertos se asemejan mucho en los requisitos a tener en consideración para su revisión.
4. En la metodología para la revisión de puertos los efectos que produce la grúa es importante conocer qué tipo de equipo de izaje trabaja en ese momento en el muelle pues la fuerza producida hacia la estructura son diferentes, al igual para el efecto del buque se debe conocer qué tipo de buque atraca o se encuentra amarrado en el muelle ya que el impacto que ejerce hacia la estructura como la fuerza horizontal van ser del mismo valor y magnitud.

CAPÍTULO 3

Capítulo 3 Aplicación de la metodología a un problema

3.1 Resumen

En este capítulo se realiza la determinación de la carga horizontal actuante en un puerto ejercido por el buque producto de los agentes medioambientales, en este caso el agente más importante a evaluar es la acción del viento sobre el buque y la de la carga vertical provocada por el quipo de izaje (grúa) por las condiciones de trabajo.

Para ello se dispuso de la Norma Española (ROM 02-90 Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias, año 2002) con el objetivo de identificar las fuerzas horizontales desempeñadas por distintos buques de diferentes variedades, tonelajes y dimensiones hacia un puerto.

3.2 Introducción

El proyecto de una obra marítima, al igual que cualquier otra obra civil, se fundamenta en modelos matemáticos y físicos, los cuales sirven para proyectar y predecir su comportamiento a lo largo de su vida y para cuantificar los fenómenos físicos. Para ello se realizan pruebas de cargas para la determinación del modelo racional de las estructuras portuarias. Estas obras deben ser fiables, funcionales y operativas durante el tiempo en que vaya a permanecer en servicio. A lo largo de su vida, la obra pasa por diferentes estados de proyecto, estructurales, formales y de uso y explotación dependiendo de la variabilidad temporal y espacial de los factores de proyectos.

3.3 Ejemplo Numérico. Efecto del Buque según la Norma Española

A continuación se muestra un proyecto donde se evalúa las deformaciones laterales de la viga de contención de atraque el cual será de gran importancia para el almacenaje de carga, donde no se tuvo en cuenta y no se determinó la carga horizontal producida por el buque.

Ensayos de carga atraque # 8 “Osvaldo Padrón”. Determinación de las deformaciones laterales del Muelle

El Objetivo de este proyecto es determinar la deformación lateral de la viga de contención del atraque donde servirá de base para el almacenamiento de carga (tuberías y otros insumos), apoyados sobre dispositivos creados a dicho efecto de la grúa (Rack). Para ello se realiza la

modelación del comportamiento del atraque bajo la acción de dichas cargas y se comprobó la validez de dicho modelo con la realización de pruebas de carga a escala real, como fue la modelación del comportamiento de la tablestaca bajo la acción de las cargas permanente (empuje de suelo y agua) y la evaluación de las deformaciones bajo la acción de carga externas (prueba de carga).

En este proyecto no se tuvo en cuenta el efecto que produce el buque hacia el muelle como una fuerza horizontal, el cual se debe tener en consideración por la gran importancia que tiene el mismo, cuando ejecuta la tarea de atraque y cuando se encuentra amarrado al muelle.

A continuación se muestra la determinación de la carga horizontal en el puerto que produce un buque de proyecto del tipo Portagraneles y Polivalentes de 30000 toneladas de peso propio, por la acción del viento, el cual no fue considerada en este proyecto.

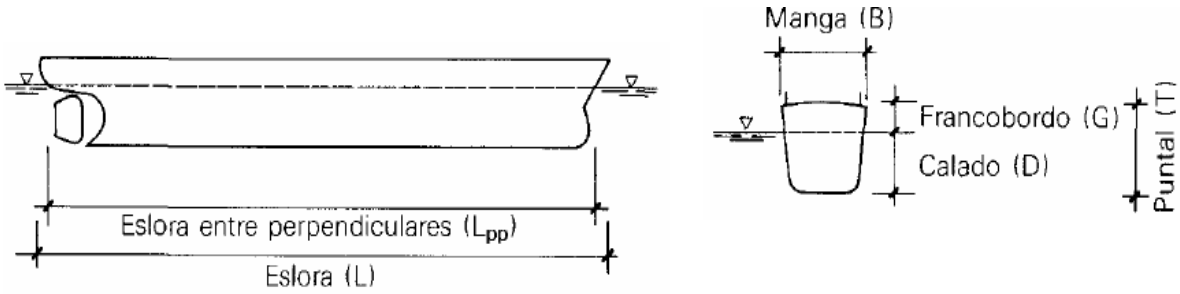


Figura 3.1 Dimensiones de buque.

Dimensiones del buque de proyecto obtenido de la Tabla 3.4.2.3.5.1 de la Norma Española ROM 02-90.

L= 192.0m

B= 27.3m

T= 14.5m

D= 10.6m

Lpp = 95%*L= 182.4m

G=T-D = 14.5m-10.6m = 3.9m

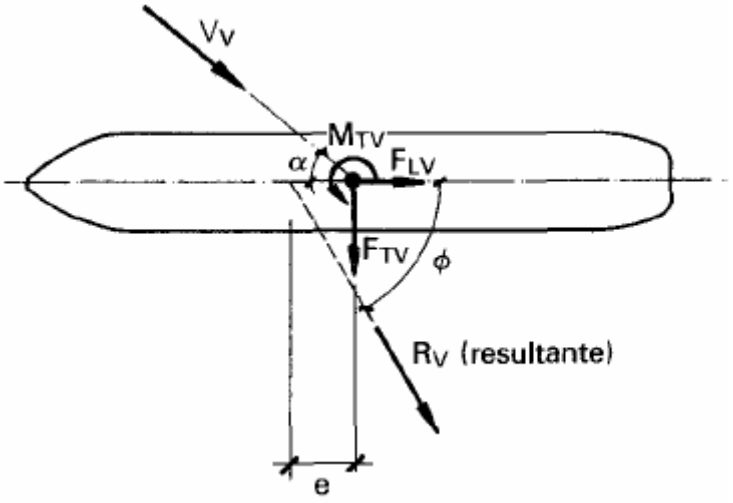


Figura 3.2 Efectos del viento sobre el buque.

Rv

. = Fuerza resultante horizontal.

$$R_v = [(\rho/2g)*C_V*V^2_V - (C_V*V^2_V)/16000] * (A_T cos^2\alpha + A_L sen^2\alpha)$$

ρ= Peso específico del aire ($1{,}225 \cdot 10^{-3}$ t/m^3 = 0.01225 kN/m^3).

g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s^2).

Cv = Factor de forma (a dimensional). Puede variar entre 1,0 y 1,3.

A falta de una determinación más precisa mediante estudios en modelo, se adoptará el valor 1,3 para cualquier forma del buque y dirección de actuación del viento.

- ***Para valores de α=30º*** *ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación el viento.*

Vv1min = 22 m/s (≈ 80 km/h). Sin la adopción de medidas reductoras por variación de la configuración del buque.

A_T = Área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento, en m^2.

A_L = Área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento, en

m^2.

$A_T = B \cdot (G + h_T)$

$A_L = Lpp \cdot (G + h_L)$

Los valores usuales de h_T y h_L son obtenidos de la tabla 3.4.2.3.5.9 de la Norma Española ROM 02-90.

h_T = 11.00my h_L = 5.00m, para el buque de proyecto Portagraneles y Polivalentes, y de 30000 t.

$A_T = 27.3m \cdot (3.9m+11.00m) = 406.77m^2$

$A_L = 182.4m \cdot (3.9m+5.00m) = 1623.36m^2$

$Cos^2\alpha = 0.75$

$Sen^2\alpha = 0.25$

$$Rv = \frac{0.01225}{2 * 9.81} * 1.3 * (22)^2 * (406.77 * 0.75 + 1623.36 * 0.25) - \frac{1.3 * (22)^2}{16000} * (406.77 \ \ 0.75 + 1623.36 * 0.25)$$

La fuerza resultante horizontal (Rv) actuante en el puertos es de 251.33 kN.

Ø = ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación el viento, en grados.

$$tan\emptyset = \frac{A_L}{A_T} * tan\alpha$$

$$tan\emptyset = \frac{1623.36}{406.77} tan30° = 2.304$$

$$\emptyset = tan^{-1}2.304 = 66.5°$$

F_{TV} = Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante, en t.

F_{LV} = Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, en t.

M_{TV} = Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, en t*m.

$$F_{LV} = R_V * cos\emptyset = 251.33 * cos\,66.5° = 100.22kN$$

$$F_{TV} = R_V * sen\emptyset = 251.33 * sen\ 66.5° = 230.5\ kN$$

$$M_{TV} = F_{TV} * e = F_{TV} * K_s * L = 230.5kN * 0.10 * 192m = 4425.6kN \cdot m$$

- ***Para valores de α=80º***

$Cos^2\alpha$ =0.030

$Sen^2\alpha$ = 0.97

$$Rv = \frac{0.01225}{2 * 9.81} * 1.3 * (22)^2 * (406.77 * 0.030 + 1623.36 * 0.97) - \frac{1.3 * (22)^2}{16000} * (406.77\ \ 0.030 + 1623.36 * 0.97)$$

La fuerza resultante horizontal (Rv) actuante en el puertos es de 561 kN.

$$tan\emptyset = \frac{A_L}{A_T} * tan\alpha$$

$$tan\emptyset = \frac{1623.36}{406.77} tan80° = 22.633$$

$$\emptyset = tan^{-1}22.633 = 87.47°$$

$$F_{LV} = R_V * cos\emptyset = 561 * \cos 87.47° = 24.76\ kN$$

$$F_{TV} = R_V * sen\emptyset = 561 * sen\ 87.47° = 560.45\ \ kN$$

$$M_{TV} = F_{TV} * e = F_{TV} * K_s * L = 560.45kN * 0.10 * 192m = 10760.7\ kN \cdot m$$

Tabla resumen de los resultados con distintos buques y ángulo de inclinación del viento.

Peso del Buque	Carga genera (Rv)	Comentario
30000 Toneladas (buques Portagraneles y Polivalentes)	251.33 kN para $\alpha=30^0$ 561 kN para $\alpha=80^0$ 574 kN para $\alpha=90^0$	Buque atracando
60000 Toneladas (buques Transportadores de gases licuados.)	1195.1 kN para $\alpha=90^0$	Buque atracando

200000Toneladas (Petrolero)	4758 kN para $\alpha=90^0$	Buque atracando

Metodología para la revisión de puertos para cálculo de la fuerza horizontal.

1. Tipo de buque que efectúa el atraque o amarrado.
2. Peso del buque (Tonelaje)
3. Dimensiones del buque (Eslora total, Eslora entre perpendiculares, Manga, Calado, Francobordo y Puntal).
4. Ángulo de inclinación del viento formado entre el eje longitudinal del buque.
5. Velocidad básica horizontal del viento de proyecto correspondiente.
6. La obtención de otros valores importantes como son (Peso especifico del aire, Aceleración de la gravedad y el Factor de norma).
7. Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano transversal.
8. Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano longitudinal.
9. Área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento.
10. Área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento.
11. Obtención de la fuerza resultante horizontal (Rv).

3.3.1 Ejemplo numérico del cálculo del efecto del buque por la Norma Cubana

Utilizando el buque obtenido por la Norma Española.

Buque de proyecto del tipo Portagraneles y Polivalentes de 30000 toneladas.

Dimensiones del buque de proyecto.

Eslora = 192.0m

Manga = 27.3m

Puntal = 14.5m

Calado = 10.6m

Otros valores importantes.

Vnc = 22 m/s (≈ 80 km/h). Sin la adopción de medidas reductoras por variación de la configuración del buque.

- *Cálculo de la fuerzas normales con el buque amarrado (F_{NT})*

$F_{NT} = F_{NV} + F_{NC} + F_{NO}$

a) Cálculo de la fuerza normal debido al viento (F_{NV}).

$F_{NV} = 73.6*10^{-5} * A_N * V^2_N * \varepsilon$

$A_N = A - A_P$

$A=0.13E^2$ para buques cargueros.

$A = 0.13*(192)^2 =$ 4792.32 m^2.

$A_P = (ha + \alpha\ hp)\ E$

ha = 5.0m

$$\alpha = 0.5 \frac{hp}{Lo} \frac{Lp}{E}$$

Lo → se considera un valor total si *Lo* > *hp*, y si *Lo* < *hp* se considera *Lo* = *hp*. Por tanto se clasifican hp y Lo.

$$\alpha = 0.5 \frac{Lp}{E}$$

$$\alpha = 0.5 \frac{27.3m}{192m} = 0.071$$

$A_P = (5.0 + 0.71*15)*192 =$ 1164.5 m^2

ε = 0.65 obtenido de la tabla No-1.

A_N = 4792.32 - 1164.5 = 3627.82 m^2

$F_{NV} = 73.6*10^{-5} * 3627.82 * (22)^2 * 0.65 =$ 840.0 kN

b) Cálculo de la fuerza normal debido a la corriente (F_{NC}).

$F_{NC} = 0.59 * A_{NS} * (V_{NC})^2$

A_{NS} = E * calado = 192.0m*5.0m = 960 m^2

$\boldsymbol{V_{NC}}$ = 1 m/s (2 nudos)

$F_{NC} = 0.59 * 960 * (1)^2 =$ 566.4 kN

c) Cálculo de la fuerza normal debido a la ola (F_{NO}).

$F_{NO} = \eta\ \rho\ g\ h_O\ A_{NS}$

η = 0.6 (obtenido del ábaco para los valores de 80.0m longitud de ola y calado 5.0m).

ρ = densidad del agua de mar 1.025 tf/m^3 = 10.25 kN/m^3.

g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s^2.

h_O = 1.0 m

$F_{NO} = 0.6 * 10.25* 1.0 * 9.81 * 960 =$ 57918.24 kN

$F_{NT} = F_{NV} + F_{NC} + F_{NO} =$ 59324.64 kN

Resultado de la fuerza normal con el buque amarrado es de 59324.64 kN

- *Cálculo de la fuerzas paralelas con el buque amarrado (F_{PT})*

$F_{PT} = F_{PV} + F_{PC} + F_{PO}$

a) Cálculo de la fuerza paralela debido al viento (F_{PV}).

$F_{PV} = 49.0*10^{-5} * A_{PV} * V^2_{PV} * \varepsilon$

$A_{PV} = 14\% * A_N =$ 508 kN

$\boldsymbol{V_{PV}}$ = 22m/s

ε = 0.65 obtenido de la tabla No-1.

$F_{PV} = 49.0 \cdot 10^{-5} * 508 * (22)^2 * 0.65 =$ <u>78.0 kN</u>

b) Cálculo de la fuerza paralela debido al viento (F_{PC}).

$F_{PC} = 0.59 * A_{PS} * (V_{PC})^2$

$A_{PV} = 14\% * A_N =$ <u>508 kN</u>

$V_{PC} = 0.5$ m/s (1 nudo)

$F_{PC} = 0.59 * 508 * (0.5)^2 =$ <u>150 kN</u>

c) Cálculo de la fuerza paralela debido al viento (F_{PO}).

$F_{PO} = \eta\ \rho\ g\ h_o\ A_{PS}$

$A_{PV} = 14\% * A_N =$ <u>508 kN</u>

η, ρ, g, h_O ya fueron definidos anteriormente.

$F_{PO} = 0.6 * 10.25 * 9.81 * 1.0 * 508 =$ <u>30648 kN</u>

$F_{PT} = F_{PV} + F_{PC} + F_{PO} =$ <u>30876 kN</u>

Resultado de la fuerza paralela con el buque amarrado es de <u>30876 kN</u>

- *<u>Cálculo de la fuerza de compresión sobre el muelle o amarradero.(C)</u>*

$C = (1.10F_{NT}) / L_C$

Empleando la longitud del muelle o amarradero de L=150m y el largo de la recta Lr=0.65E = 124.8m por ser un buque carguero. Por lo que L > Lr por tanto el valor de Lc = Lr

$L_C = 124.8$m

$$C = \frac{1.10 * 59324.64}{124.8} = 522.9\text{kN}$$

- *<u>Cálculo de la fuerza de tracción sobre los cabos</u>*

$N_T = F_{NT} / (n * sen\alpha * cos\beta)$

n = 4 obtenido de la tabla XX

α = 30 y β = 20 obtenidos de la tabla XX.

$$N_T = \frac{59324.64}{(4 * sen\ 30 * cos\ 20)} = \overline{31566\ kN}$$

- *Cálculo de la fuerza durante el atraque del buque*

*a) Cálculo de normal total debida al impacto (**F_{ni}**)*

$F_{ni} = \sqrt{(2\ K\ E_{ab})}$

$E_{ab} = \psi * (V^2 / 2g)$

Ψ = 0.50 obtenido de la tabla XX.

V = 0.22

$$E_{ab} = 0.50 \left(\frac{0.22^2}{2 * 9.81}\right) = 1.23 \cdot 10^{-3}$$

K = 200 kN/m

$$F_{ni} = \sqrt{2 * 200 * 1.23 \cdot 10^{-3}} = \overline{0.70\ kN/m}$$

*b) Cálculo de paralela total debida al impacto (**F_{pi}**).*

$F_{pi} = \mu\ F_{ni}$

μ = 0.5 para hormigón o goma.

F_{pi} = 0.5 * 0.70 = 0.35 kN/m

3.4 Ejemplo Numérico. Efecto del equipo de izaje

A continuación se muestra un proyecto donde se evalúa las solicitaciones que se generan en la estructura del muelle bajo la acción de los equipos de izaje. Para ello nos apoyaremos en las

recomendaciones de la ROM 0.2-90 (Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias, año 2002), donde se analiza la grúa como una carga uniformemente distribuida sobre un área.

TABLA 3.4.2.3.2.3. (Continuación).

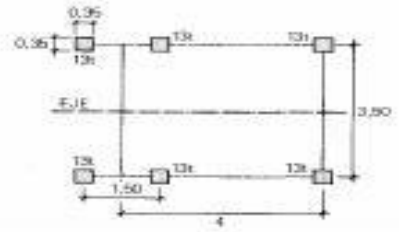
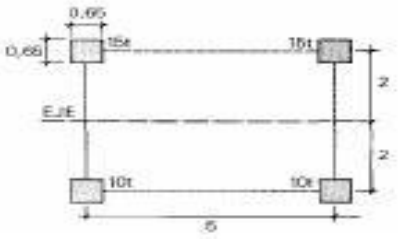
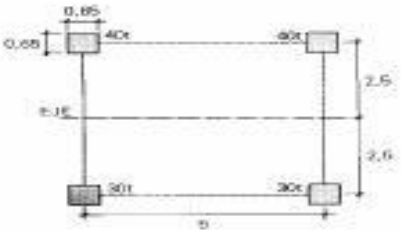
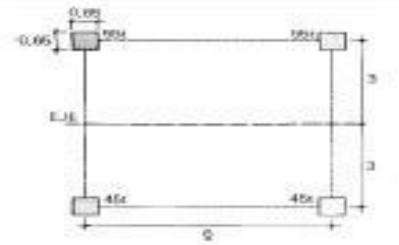
TREN TIPO - Unidades de longitud en m. - Carga en toneladas.	Sobrecarga uniforme equivalente (t/m^2)	EQUIVALENCIA FÍSICA
	1,50	Carretilla pórtico porta-contenedores de 40' de longitud, 40 t. (Straddle carrier). Peso propio = 30t
	3,00	Grúa móvil de 10 t de capacidad de elevación recomendable con radios cortos y longitud de pluma de 12 m, trabajando lateralmente o hacia atrás sobre calzos estabilizadores. (10 ton truck crane) Peso propio = 40t
	6,00	Grúa móvil de 30 t de capacidad de elevación recomendable con radios cortos y longitud de pluma de 12 m, trabajando lateralmente o hacia atrás sobre calzos estabilizadores. (30 ton truck crane) Peso propio = 110t
	9,00	Grúa móvil de 50 t de capacidad de elevación recomendable con radios cortos y longitud de pluma de 12 m, trabajando lateralmente o hacia atrás sobre calzos estabilizadores. (50 ton truck crane) Peso propio = 150t

Figura 3.3. Cargas equivalentes para grúas.

A manera de ejemplo se realiza el análisis para una grúa Móvil de 30 Ton:

- Radio corto y pluma 12 metros.

- Apoyo: 5 x 5 metros y baja 40 y 30 Ton por apoyo.
- $Q_{equivealente}$ 6 t/m^2.
- P_{Propio} 110 Ton.

La estructura del muelle analizado es la correspondiente a un mulle de viga – losa (Similar Puerto del Mariel), con losas distribuidas simétricamente de 5 x 5 metros sobre vigas en ambas direcciones.

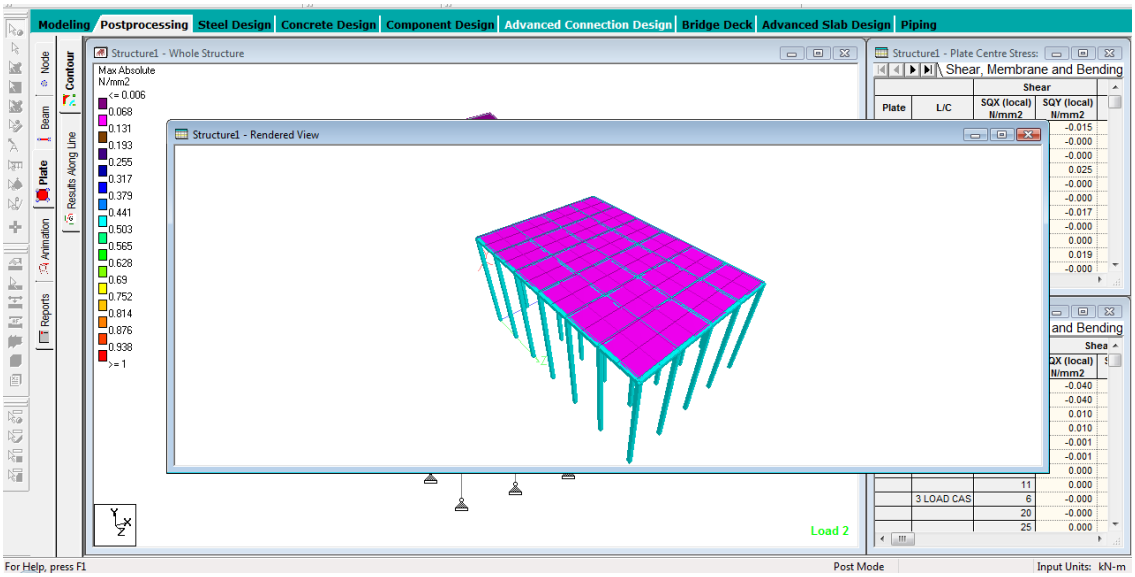
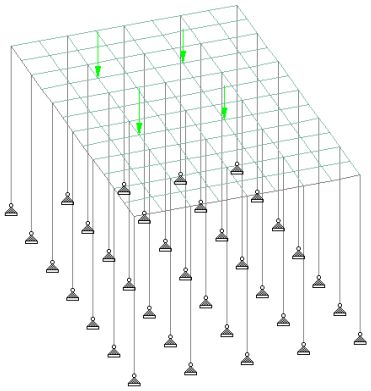


Figura 3.4. Modelación de la estructura.

A continuación se representan los esquemas de cargas utilizados en el análisis.



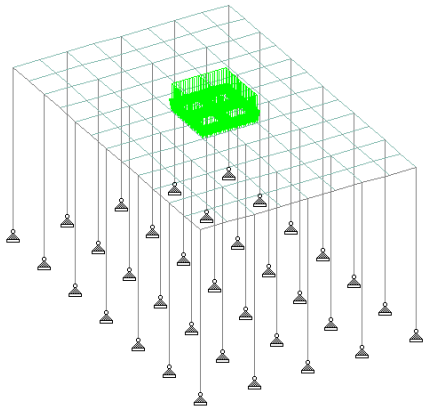


Figura 3.5. Carga Puntual sobre el muelle.

Figura 3.6. Carga Uniformemente distribuida.

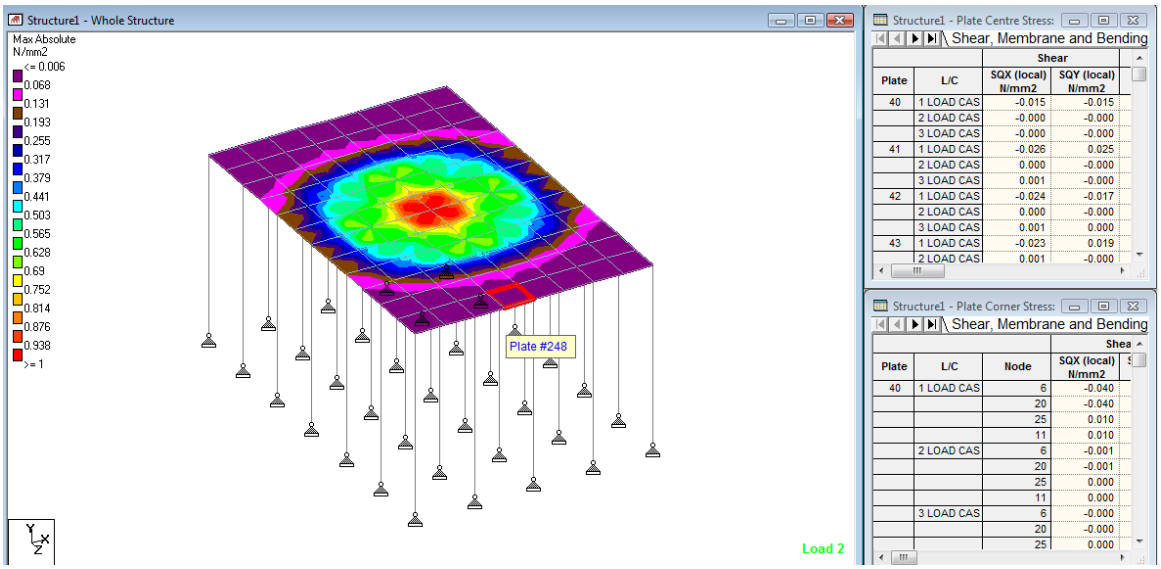


Figura 3.7. Distribución de tensiones en la losa considerando la carga equivalente.

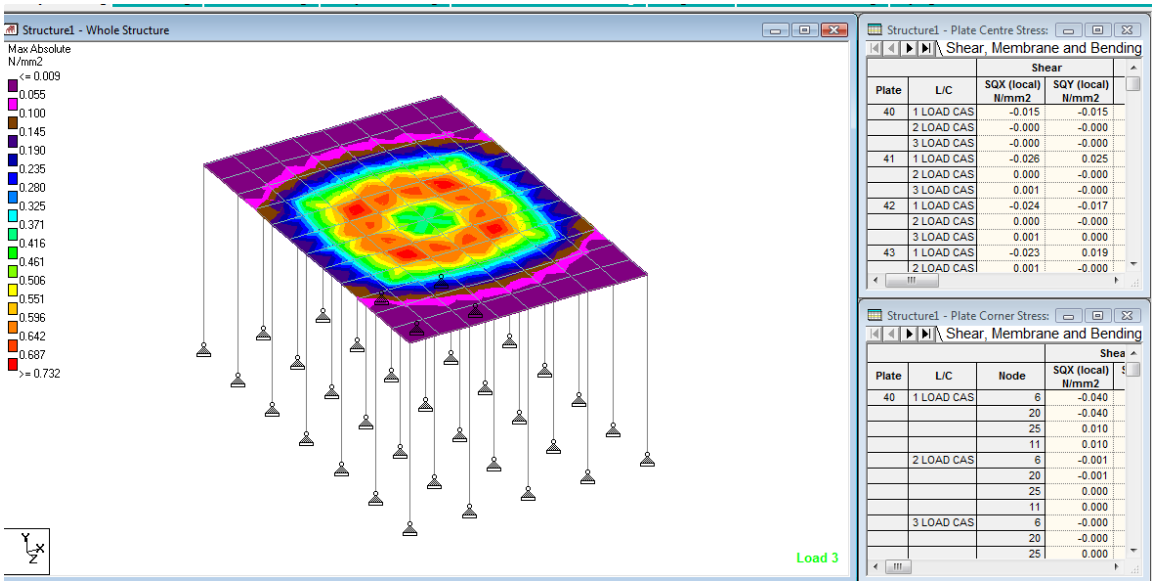


Figura 3.8. Distribución de tensiones en la losa considerando la carga Puntual.

Como se aprecia, de estos resultados existe una marcada diferencia en el estado tensional que se genera en la losa del muelle, y por tanto en el resto de sus elementos componentes, al considerar la forma de aplicación de la carga. Analizando la carga que llega al pilote se comprueba esta situación.

Pilote	Forma de aplicación de	Force-	Force-Y	Force-Z

	la carga	X kN	kN	kN
Bajo la zona cargada	Carga concentrada	0.0	640.714	0.0
	Carga puntual	0.0	452.231	0.0

Tabla 3.1. Reacción por pilote bajo el área cargada.

Pilote	Forma de aplicación de la carga	Force-X kN	Force-Y kN	Force-Z kN
Adyacente a la zona cargada	Carga concentrada	0.0	197.97	0.0
	Carga puntual	0.0	225.357	0.0

Tabla 3.2. Reacción por pilote adyacente al área cargada.

Como se aprecia, el hecho de considerar la carga como una carga equivalente (actuando en una área), provoca mayores solicitaciones en el elemento pilote que se encuentra ubicado directamente bajo esta área, no siendo así cuando se modela la acción de la carga puntual, que se aprecia una redistribución de los esfuerzos. Una conclusión, validada en los ensayos de carga realizados por la ENIA CIDEM, y comprobada en este ejemplo es que al modelar la estructura baja la acción de la carga de la grúa como una carga puntual o similar a su forma de actuación, existe una redistribución espacial de las solicitaciones en los elementos estructurales, por lo que estructuras que por métodos de análisis plano o aplicando la carga equivalente no cumplan el criterio de resistencia sus elementos estructurales, al modelar la carga en su forma real de aplicación pueden dar revisiones satisfactoria de su comportamiento.

De manera similar a este análisis, se comprueban las solicitaciones actuantes en las vigas del muelle bajo estos dos sistemas de carga.

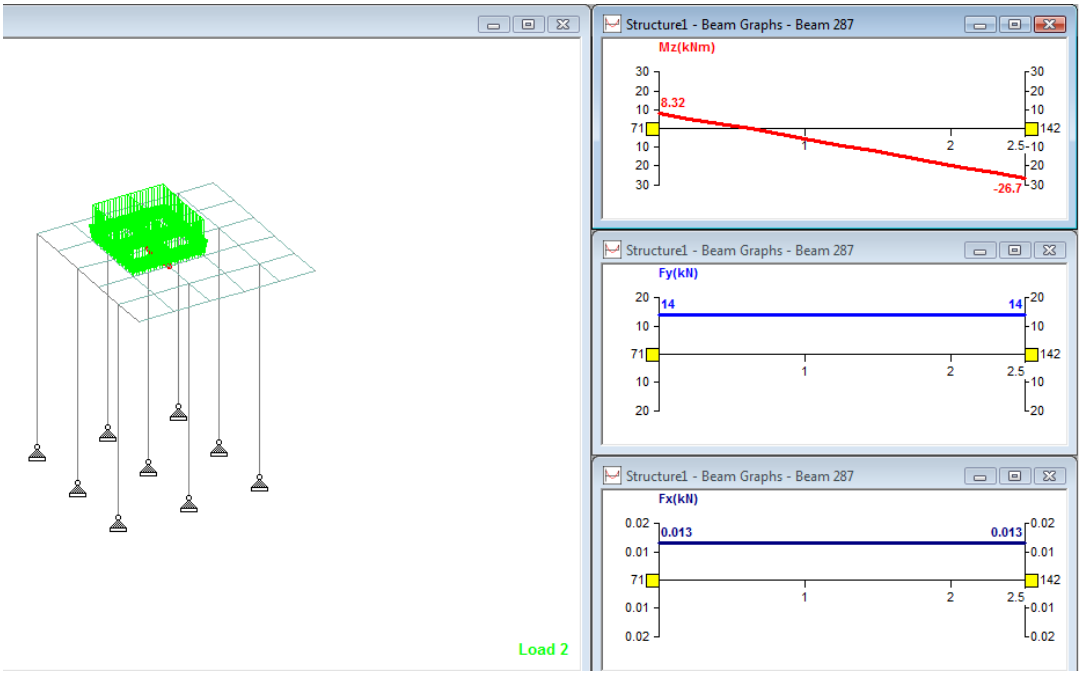


Figura 3.9. Carga Uniformemente distribuida sobre la losa.

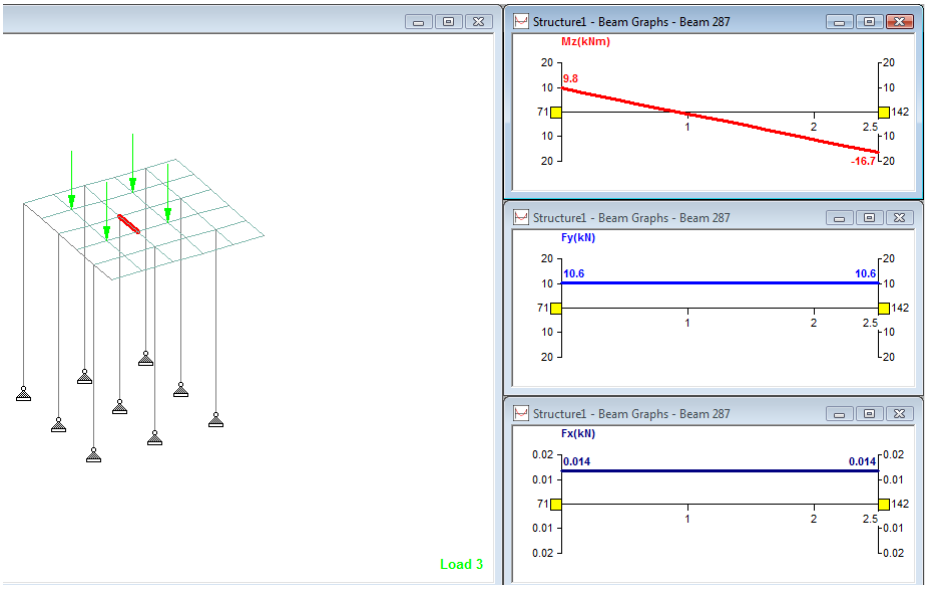


Figura 3.10. Carga puntual sobre la losa.

Como se aprecia el momento en la viga analizada disminuye en un 35 % al considerar la acción de la carga puntual sobre la losa. Otro aspecto no analizado en este ejemplo lo es, la rigidez del elemento losa, que en la medida en que aumente permitirá una mejor redistribución de esfuerzo en toda la estructura.

Para el caso de equipos de izaje, de mayor tonelaje, como la GRUA YK-100, al tener una mayor distancia entre sus apoyos estos resultados serán más evidentes.

De igual manera se realiza el análisis para una grúa Móvil de 140 Ton:

- *Radio corto y pluma 16 metros.*
- Apoyo: 10 x 7 metros y baja 110 y 80 Ton por apoyo.
- $Q_{equivealente}$ 14 t/m^2.
- P_{Propio} 240 Ton.

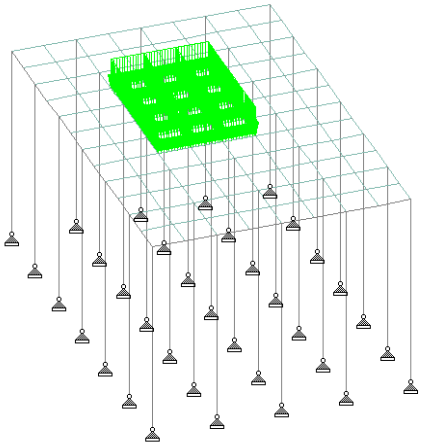


Figura 3.11. Carga uniformemente distribuida sobre la losa.

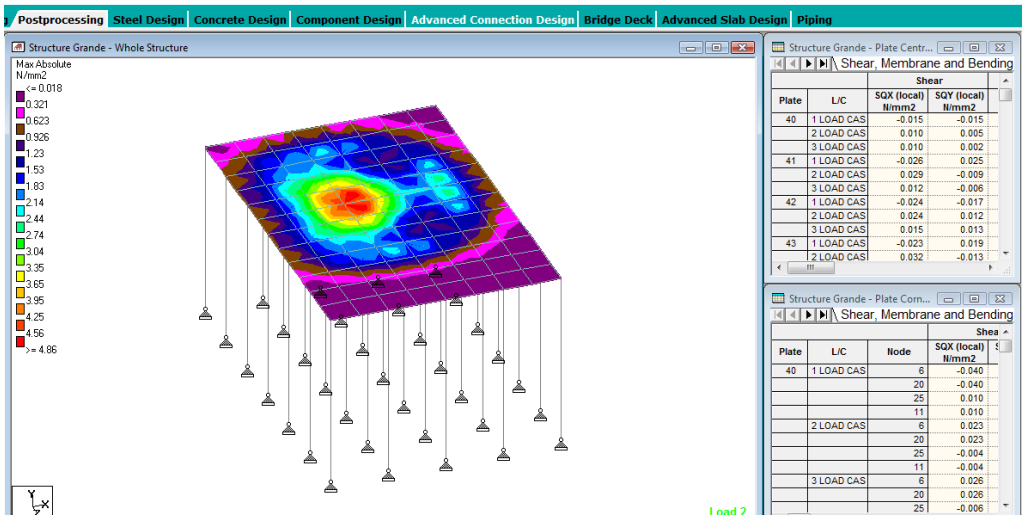


Figura 3.12. Distribución de tensiones para la carga uniformemente distribuida sobre la losa.

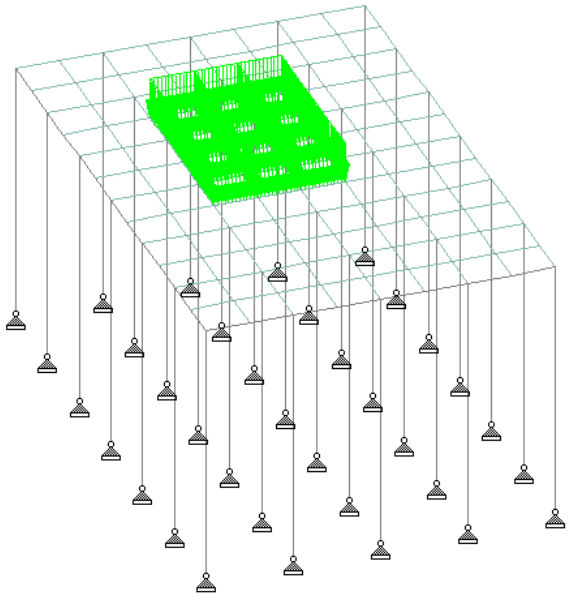


Figura 3.13. Carga Puntual sobre la losa.

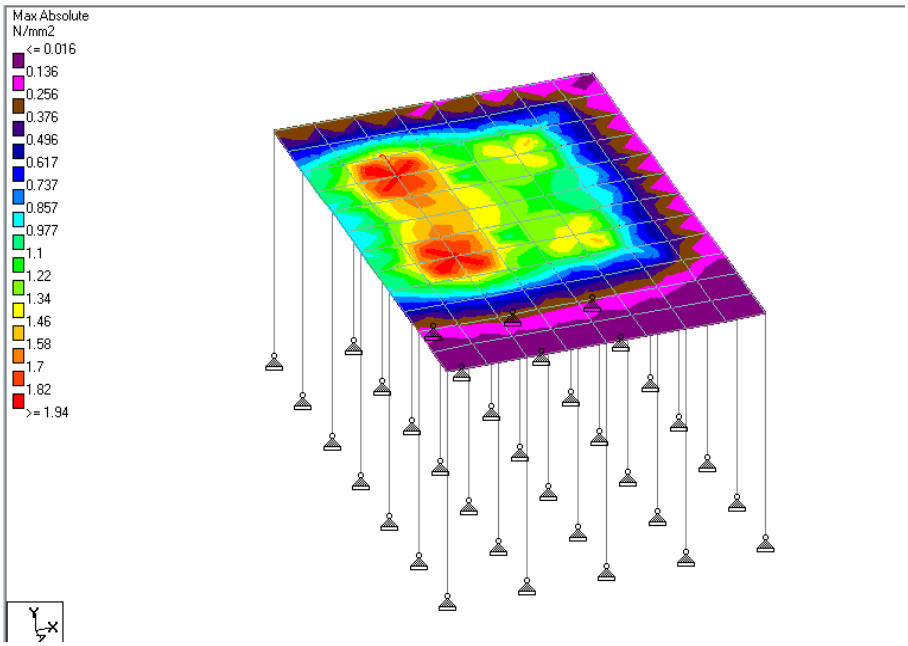


Figura 3.14. Distribución de tensiones para la carga puntual sobre la losa.

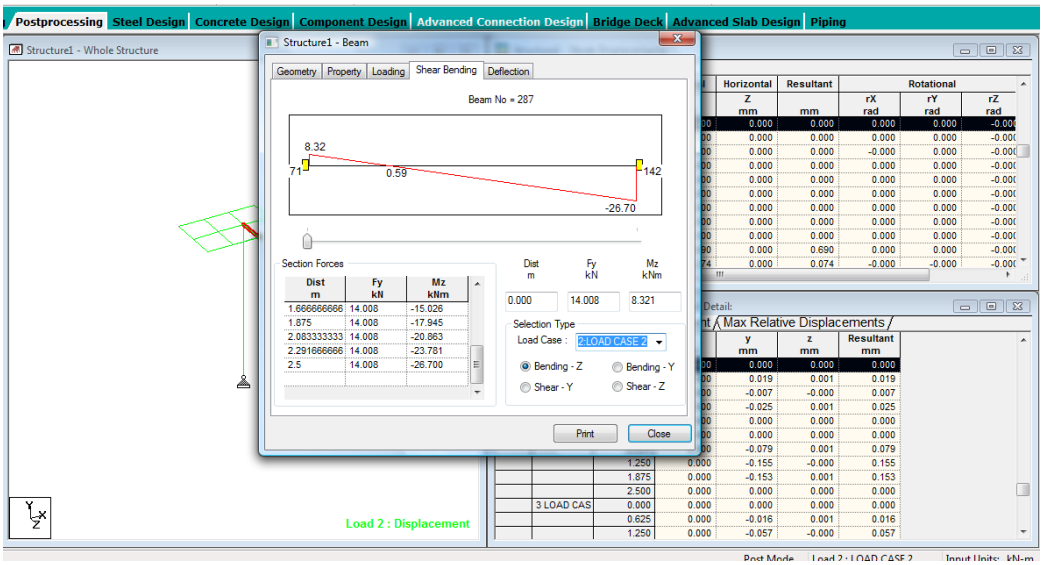


Figura 3.15. Solicitaciones en una viga, considerando la carga uniformemente distribuida.

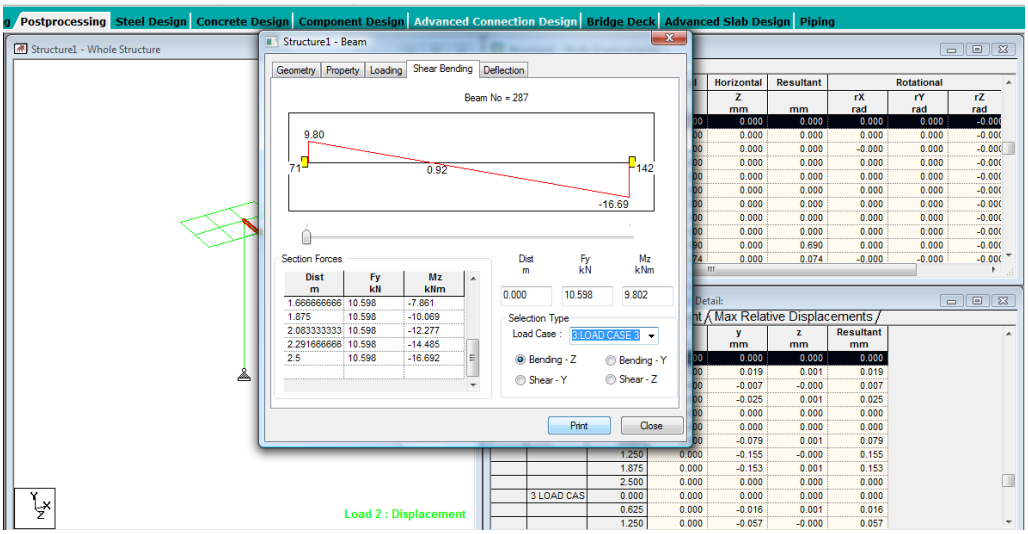


Figura 3.1.6 Solicitaciones en una viga, considerando la carga puntual.

Como se aprecia el momento en la viga analizada disminuye en un 35 % al considerar la acción de la carga puntual sobre la losa, al igual que el caso anterior.

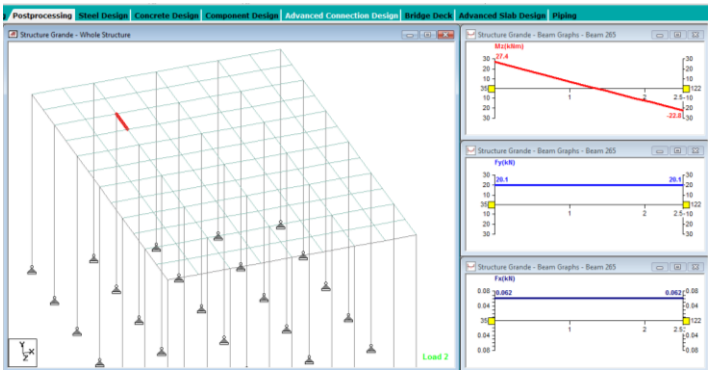


Figura 3.17. Solicitaciones en una viga, considerando la carga uniformemente distribuida.

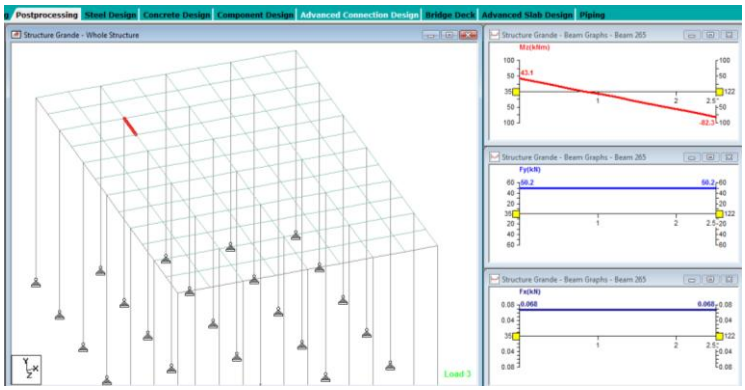


Figura 3.18. Solicitaciones en una viga, considerando la carga puntual.

Ejemplo Real. Puerto de Cienfuegos.

A manera de ejemplo final se analiza el puerto de Cienfuegos, que tiene la particularidad de estar conformado por vigas de hormigón pretensado, espaciadas a 1.2 metros. En este caso la losa no se considera un elemento estructural y la conexión entre vigas transversalmente se alcanza por aceros salientes en las mismas, que dan la continuidad estructural. Resulta evidente entonces, que las vigas que estén bajo la acción de la carga puntual serán las más solicitadas y aquellas que se encuentran dentro del área de los apoyos o fuera de estos, serán menos solicitadas.

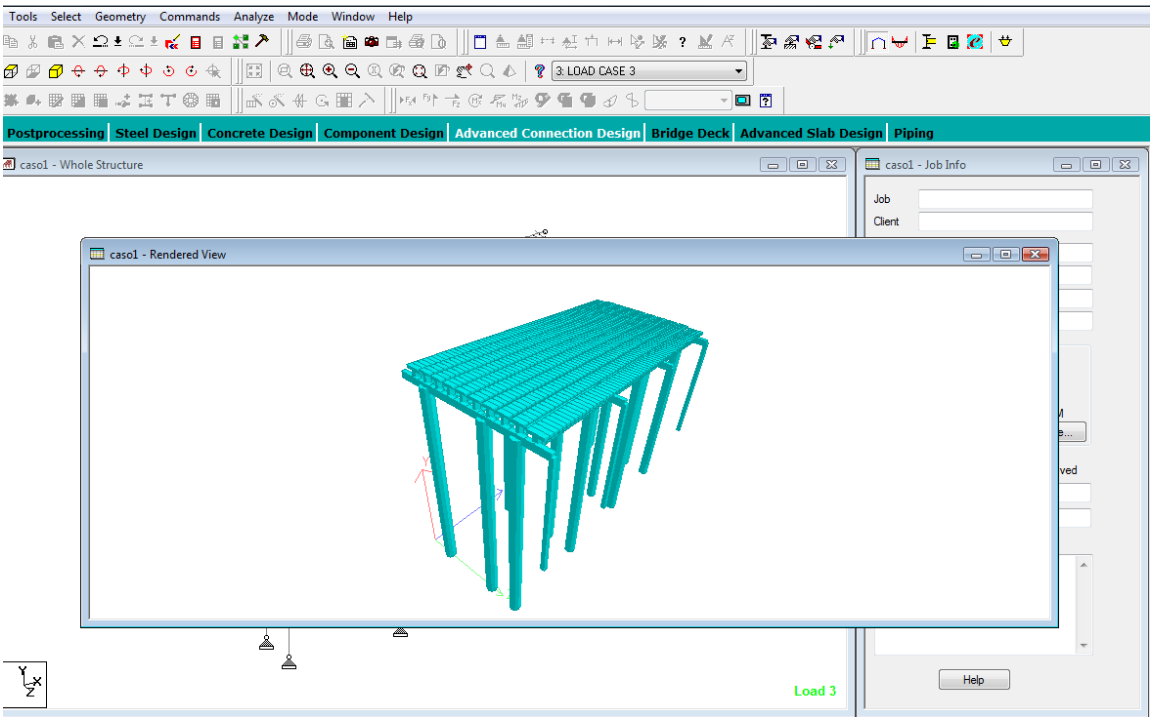


Figura 3.19. Modelación de la estructura real.

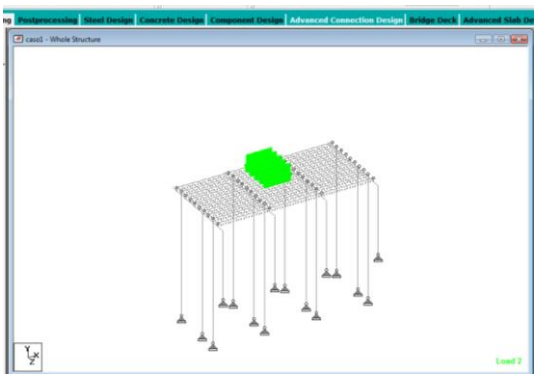


Figura 3.20. Carga equivalente.

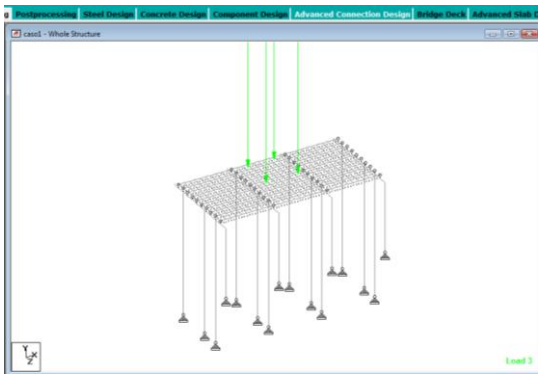


Figura 3.21. Carga Puntual.

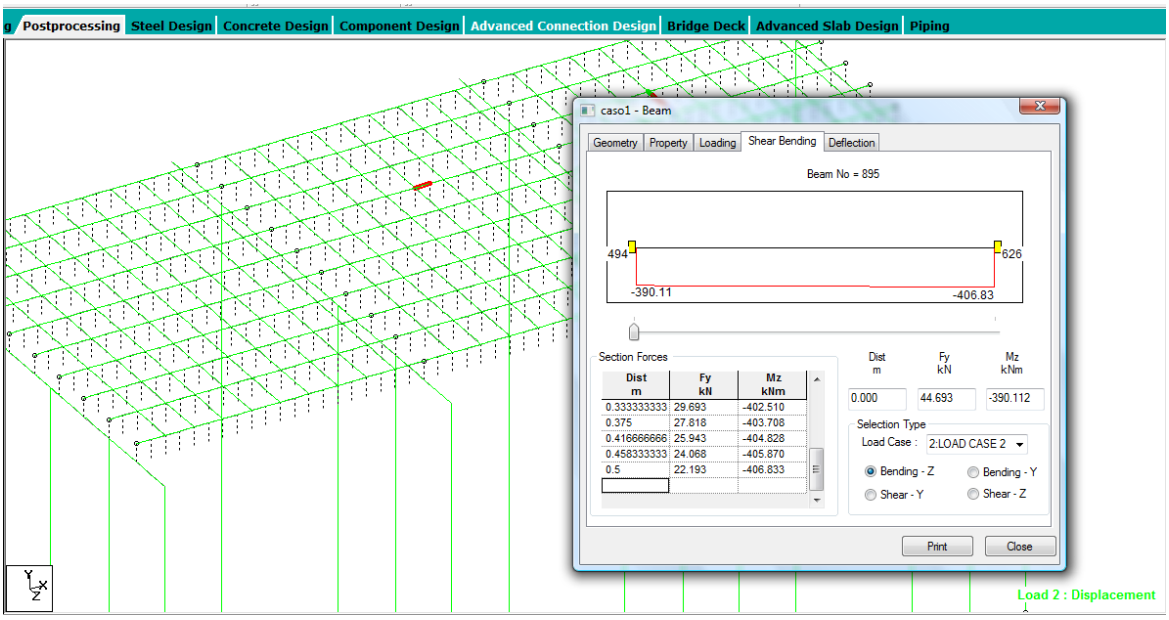


Figura 3.22, Momento en la viga intermedia considerando la carga equivalente.

Mx = 406 kN-m.

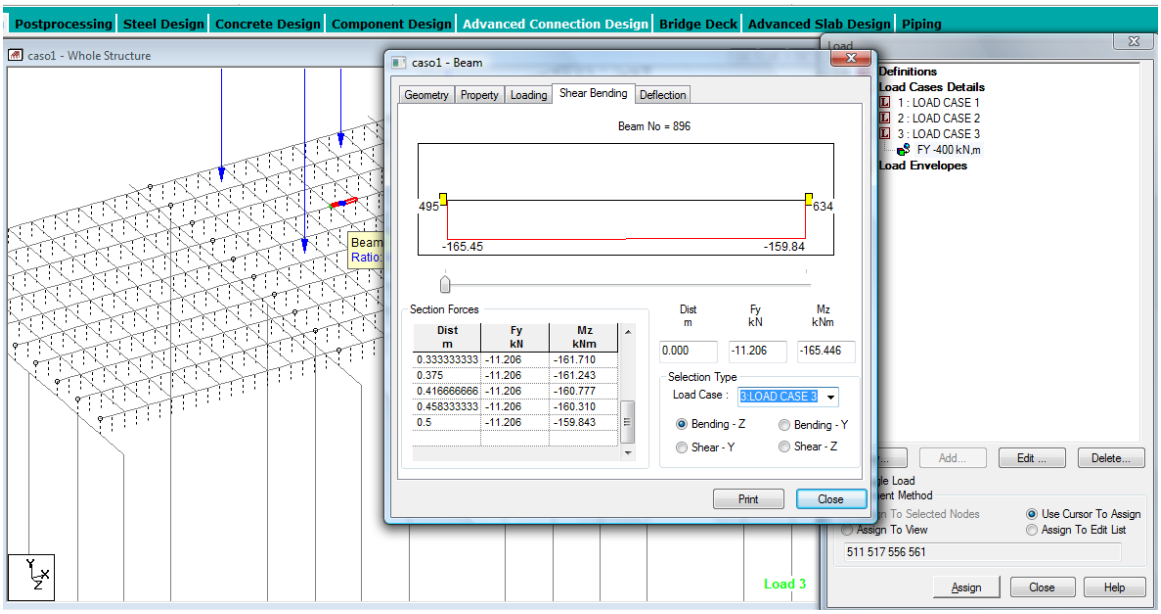


Figura 3.23, Momento en la viga intermedia considerando la carga Puntual.

Mx = 159 kN-m.

Como se aprecia de estos resultados al considerar el efecto de la carga como puntual, las vigas intermedias están menos solicitadas.

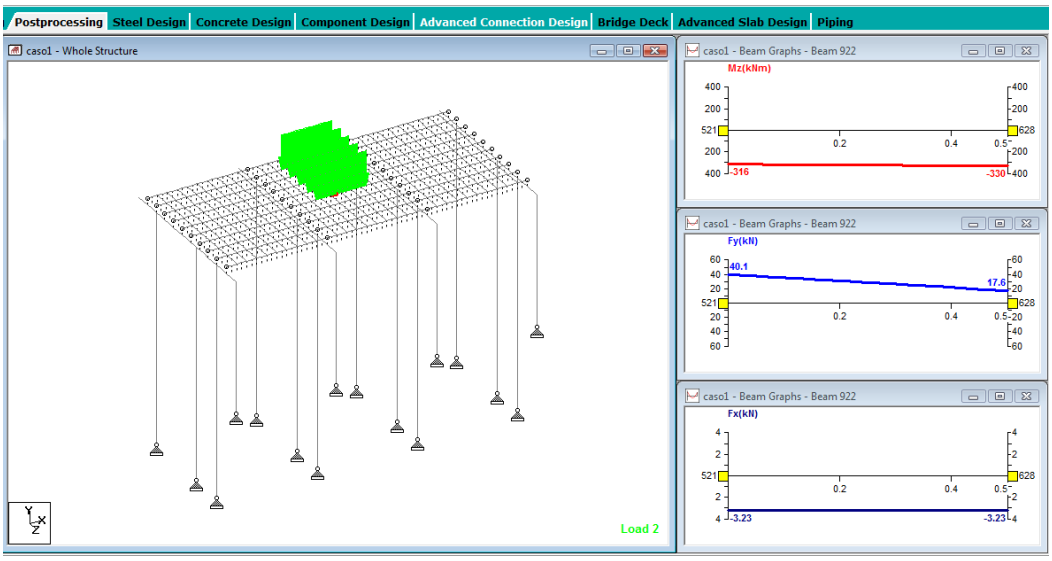


Figura 3.24, Momento en la viga cargada considerando la carga equivalente.

Mx = 330 kN-m

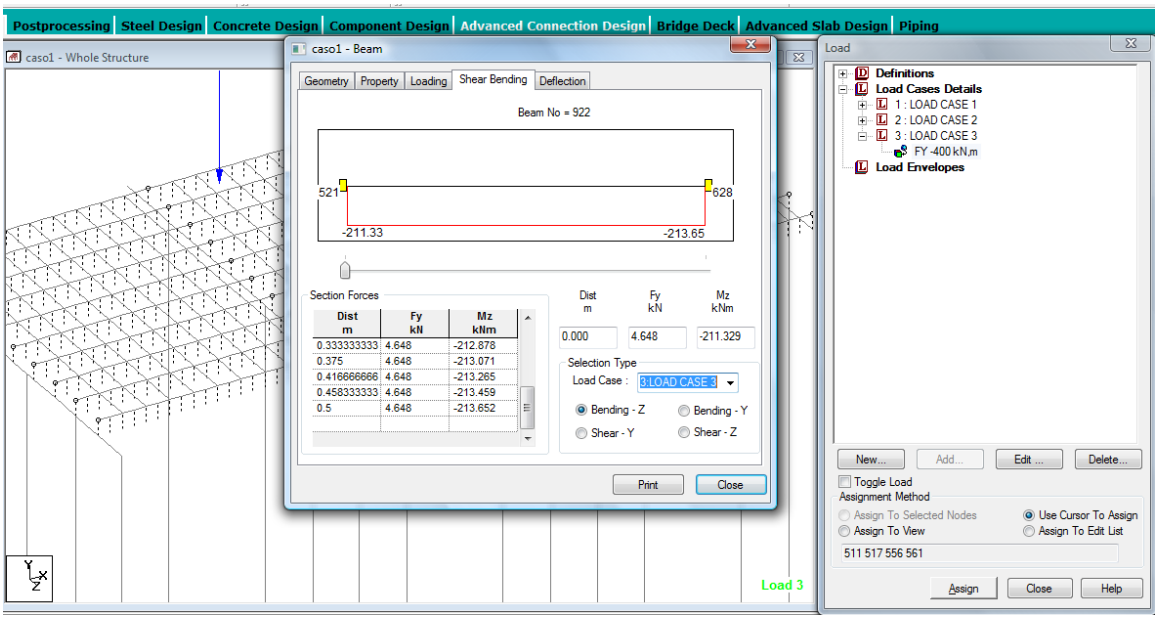


Figura 3.25, Momento en la viga cargada considerando la carga Puntual.

Mx = 213 kN-m

Con estos resultados queda confirmado que la modelación de la carga actuante, lo más próximo a su forma de aplicación (en dimensiones, magnitud) da como resultado menores solicitaciones en los elementos estructurales, pues existe una redistribución de los esfuerzos.

3. 5 Conclusiones Parciales

Una vez obtenidos los valores de la carga horizontal ejerce diferentes buques cuando este atraca, o está amarrado y la acción de los equipos de izaje podemos arribar a las siguientes conclusiones:

1. Es importante calcular la carga horizontal actuante pues en la medida que aumente el atraque o el amarre de distintos buques de mayor tonelaje y en función de la dirección del viento, se genera una mayor carga hacia la estructura.

2. En el caso de las cimentaciones de pilotes la carga horizontal es significativo su valor para su diseño estructural.

3. En la determinación de las solicitaciones en los elementos estructurales, el empleo de la carga equivalente puede dar como resultado, mayores solicitaciones que las que realmente actúan en los elementos.

4. Es factible y racional, realizar una modelación de la estructura, teniendo en cuenta la magnitud y forma de aplicación de la carga vertical provocada por la grúa, en aras de determinar la verdadera capacidad estructural de los puertos, resultado avalado por los trabajos de investigación.

CAPÍTULO 4

Capítulo 4. Confección de la Monografía

4.1 Resumen

En este capítulo se realiza un resumen del estudio obtenido en los anteriores capítulos donde se evaluaron los aspectos a tener en cuenta a la hora de ejecutar la revisión de puertos, principalmente en la ejecución pruebas de cargas, en la evaluación de las cargas o fuerza horizontales producidas por el buque cuando está amarrado al muelle y cuando atraca, y de las cargas o fuerzas verticales causadas por el equipo de izaje (grúa) cuando realiza su labor de carga y descarga de mercancías, todas estas cargas son ocasionada por el medio ambiente que rodea la zona donde se encuentran ubicados los puertos.

Para ello se dispuso de toda la información tomada de los capítulos anteriores adquirido de diferentes normas, libros, y artículos con el compromiso de alcanzar los objetivos específicos de este trabajo de diploma.

4.2 Introducción

Debido a las necesidades que existen a nivel mundial del transporte de mercancías por vías marítimas (vía que ofrece una mayor seguridad), es necesaria la elaboración de este trabajo, el cual estudia los aspectos a tener en cuenta en la revisión de los puertos principalmente en los efectos que produce el buque por el atraque y el amarre hacia el muelle y el equipo de manipulación (Grúa) cuando realiza las acciones de cargas y descargas de las mercancías, provocando las fuerzas o cargas horizontales y verticales respectivamente por acciones medioambientales, donde es necesario la realización de transformaciones en las estructuras portuarias para el soporte de mayores cargas para su diseño y revisión.

4.3 Estudio de las cargas producidas por las grúas en los puertos

Para el estudio de las cargas verticales ocasionada sobre el muelle se debe tener en cuenta las sobrecargas de equipos e instalaciones de manipulación de mercancías en función de las características específicas de la instalación que se proyecta y en la posición del muelle donde está ubicada la grúa. El proyectista deberá averiguar con los criterios preestablecidos de planificación portuaria y especificaciones, las características de los equipos de manipulación de mercancías que operan en la zona, su ubicación y la forma en que se solicitan a la estructura resistente.

Para la revisión de la carga vertical se debe tener varios criterios específicos en cual hay que incluir en el cálculo de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación considerada necesaria en función de uso genérico de área en que se ubica la obra, tomando como observaciones:

- Las mercancías, materiales o suministros a manipular.
- Los métodos más adecuados para su manipulación.
- Las características medioambientales de la zona: principalmente las ráfagas de viento.

En el proyecto se listarán los equipos de manipulación de mercancías que afectan la obra proyectada incluidos en el cálculo, sus características principales, y las cargas transmitidas por cada uno de ellos en cada condición de trabajo, señalándose en qué posición del equipo y la carga se producen las más desfavorables.

- Definición genérica del sistema de manipulación (tipo, carga máxima, alcance máximo).
- Definición geométrica de la banda de actuación.

También las sobrecargas de instalaciones de manipulación de mercancías serán tratadas como trenes de carga móviles constituidos por cargas superficiales, lineales o puntuales; extendidas, en el interior de bandas de actuación definidas en proyecto, a parte o a la totalidad de la estructuras resistente, de tal forma que produzcan los efectos más desfavorables en el elemento analizado.

Para el cálculo y comprobación de la estructura resistente en cada una de las fases de proyecto o hipótesis de trabajo, obligará a diferenciar las sobrecargas transmitidas por las instalaciones de manipulación según las hipótesis de carga que se detallan, por la posición y magnitud de la carga manipulada que da lugar a las acciones máximas.

- Para Condiciones Normales de operación de la grúa.

Las combinaciones de cargas son las siguientes:

- Equipo en Servicio sin Viento: Peso Propio + Carga de Servicio.
- Equipo en Servicio con Viento límite de Operatividad: Peso Propio + Carga de Servicio + Viento límite de Operatividad.

A falta de criterios de operatividad definidos se adoptará como viento límite de operación para los equipos de elevación aquella cuya velocidad media en el intervalo de ráfaga de 80 km/h, (22 m/s), actuando en la dirección que produzca los efectos más desfavorables para una posición determinada de la carga de servicio.

- Para condiciones Extremas.

  - En equipos fijos o de rodadura restringido (equipos sobre carriles o sobre bandas de rodadura) se considerará que una vez superada las condiciones medioambientales límites de Operatividad el equipo paraliza sus actividades adoptando la posición de menor superficie expuesta, pudiéndose asegurar contra el arrastre mediante dispositivo de amarre (por ejemplo cadenas, garras o cerrojos).

Para este caso la hipótesis de carga será:

- Peso Propio + Viento de Condiciones Extremas.

La velocidad de cálculo para el viento en condiciones extremas será aquella que corresponda con el período de retorno asociado al mayor riesgo admisible.

- En los equipos sin movilidad restringida (por ejemplo equipo sobre neumáticos) se considerará al alcanzarse las condiciones medioambientales límites de operatividad resguardan en zonas protegidas o auxiliares, sin que sea necesario considerar en el cálculo la hipótesis de trabajo: en condiciones extremas.

- Para Condiciones Excepcionales.

  Se considerarán en el cálculo como acciones accidentales las transmitidas en las siguientes hipótesis de carga:

  - Equipo en Servicio bajo el efecto de una colisión (con el buque, con otro equipo): Peso Propio + Carga de Servicio + Colisión.

  - Equipos Fuera de Servicio en Condiciones Medioambientales Excepcionales: Peso Propio + Viento en Condiciones Excepcionales (Período de retorno superior al correspondiente a condiciones extremas. A falta de otros datos se tomará 1000 años).

Se debe incluir en el proyecto la procedencia o fuente de las cargas transmitidas por las instalaciones de, manipulación de mercancías utilizadas en el cálculo, indicando si dicha cargas engloban o no la cuantificación de efectos dinámicos.

Pues no todos los equipos de izaje contienen el mismo peso propio, la carga equivalente y las que bajan por los apoyos, dimensión y tamaño. Para la obtención de información más detallada consultar, los anexos donde se expone de forma individual cada tipo de grúa estas cargas verticales generadas por su magnitud.

4.3.1 Cálculo de la fuerza vertical (Efecto que produce la grúa hacia el muelle)

Para el cálculo de la fuerza perpendicular al muelle lo principal que se debe varias informaciones como son:

1. Obtener que ejemplar de grúa se utiliza para la manipulación de mercancías en la descarga y carga de la misma si son (Grúas Pórticos o Portacontenedores montada sobre carriles o Grúas sobre neumáticos y orugas).
2. Peso propio (tonelaje) contiene esta grúa.
3. Su capacidad de carga.
4. Longitud de alcance del brazo en metro.
5. Carga que bajan por apoyos (tonelaje).
6. Carga equivalente que posee.
7. Definición geométrica en metro.
8. Espaciamiento límite exterior de la zona de operación lado mar (cantil del muelle) puede trabajar con mayor seguridad.
9. Hipótesis de Trabajo. Para las condiciones de operación de la grúa (Condiciones normales y Condiciones extremas dependiendo de la velocidad y actuación del viento. Obteniendo la carga vertical y la horizontal (longitudinal o transversal) por metro lineal correspondiente a cada pata de la grúa.

A continuación se presenta un resumen de las tablas 3.4.2.3.2.1, 3.4.2.3.2.2 y 3.4.2.3.2.3, obtenidas de la norma española (ROM 0.2-90 Acciones en el proyecto de obras marítimas y

portuarias dando a conocer las características de la grúas disponibles para la manipulación de mercancías para el cálculo de fuerza vertical que implanta hacia el muelle. Estas tablas están colocadas en el Anexo para la obtención de mayor información.

TABLA 3.4.2.3.2.1. *(CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS EQUIPOS SOBRE CARRILES: GRÚAS PÓRTICO.).*

Explicando para el caso de una grúa pórtico sus características y la hipótesis de trabajo.

EQUIPO	Definición geométrica (en m)	HIPÓTESIS DE TRABAJO		TREN TIPO (en t/m)		
				Grúa Pórtico con el brazo en posición lateral centrada, perpendicular a los carriles.	Grúa Pórtico con el brazo en esquina.	Grúa Pórtico con el brazo en posición lateral centrada, paralela a los carriles.
De 6 ton de capacidad y de 25m de brazo de alcance. (peso propio ≈86 t)	a = 6 b = 2 a 3 c = 1 d = 5	En condiciones normales de operación	Sin viento	q1 = 36 q2 = 10	q1 = 40 q3 = 22 q2 = 22 q4 = 8	q1 = 36 q2 = 10
			Con viento	q1 = 40 H_{VT} =2,5 q2 = 6 H_{VL} = 0	q1 =44 q3 = 22 H_{VT} = 1,8 q2 =22 q4 = 4 H_{VL} = 1,8	q1 = 40 H_{VT} = 0 q2 = 6 H_{VL} = 2,5
		En condiciones extremas		q1 = 37 H_{VT} = 8 q2 = 6 H_{VL} = 0	-	q1 = 37 H_{VT} = 0 q2 = 6 H_{VL} = 8

TABLA 3.4.2.3.2.2. *(CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS. EQUIPOS SOBRE CARRILES: GRÚAS PORTACONTENEDORES.)*

Explicando para el caso de una grúa portacontenedores sus características y la hipótesis de trabajo

Para ***GRÚA PORTACONTENEDORES*** de 38 t de capacidad de carga (utilizadas para contenedores de 12.0m). Alcance lado mar de 30 m. (Peso propio = 500 t)			
Definición Geométrica (en m)	HIPÓTESIS DE TRABAJO		
a = 15 b = 3 c = 7,5	EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN		
	Carro máximo alcance y carga	Sin viento	q1 = 30 q2 = 5

d = 9	completa lado mar	Con viento transversal o longitudinal. Límite de operatividad: V3S = 22 m/s	q1 = 32 ± 2 q2 = 5 ± 2 H_{VT} O HVL = 0,55
	Carro máximo alcance y carga completa lado tierra	Sin viento	q1 = 15 q2 = 20
		Con viento transversal o longitudinal. Límite de operatividad: V_{3s} = 22 m/s	q1 = 15 ± 2 q2 = 20 ± 2 HVT ó HVL = 0,55
	EN CONDICIONES EXTREMAS DE OPERACIÓN		
	Pluma recogida Carro y cabina en posición de aparcamiento	Con viento transversal al carril V_{3s} = 40 m/s	q1 = 15 ± 6 q2 = 18 ± 6 H_{VT} = 2
		Con viento longitudinal al carril V_{3s} = 40 m/s	q1 = 15 ± 6 q2 = 18 ± 6 H_{VL} = 2

Siendo:

a = ancho de la grúa.

b = espaciamiento entre la pata de grúa y el limite exterior de la zona de operación lado mar (cantil del muelle).

c = longitud de la huella de las patas de la grúa.

d = espaciamientos entre las patas de la grúa.

qi = Carga vertical por metro lineal correspondiente a cada pata de la grúa.

H_{VT} ó H_{VL}: Carga horizontal (longitudinal o transversal) por metro lineal, debida al viento, correspondiente a cada pata. Su distribución es homogénea con la carga vertical.

El sentido de actuación de la carga será asimismo compatible con la dirección del viento considerada y por tanto con las sobrecargas verticales asociadas a dicha dirección.

TABLA 3.4.2.3.2.3. *(CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS. EQUIPOS SOBRE NEUMÁTICOS Y ORUGAS.)*

Explicando para dos tipo de grúas sobre neumáticos como es el caso de la Carretilla pórtico portacontenedores y la Grúa móvil sus características

TREN TIPO - Unidades de longitud en m. - Carga en toneladas.	Sobrecarga uniforme equivalente (t/m2)	EQUIVALENCIA FÍSICA
Grúa de 1.0 x 2.7metros que baja 0.75 Ton por los apoyos delantero y 3.0 Ton por los apoyos traseros.	1,50	Carretilla pórtico portacontenedores de 13m de longitud, 40 t. (Straddle carrier). Peso propio = 30t
Grúa de 4.0 x 5.0metros que baja 15.0 Ton por los apoyos delantero y 10.0 Ton por los apoyas traseros.	3.00	Grúa móvil de 10 t de capacidad de elevación recomendable con radios cortos y longitud de pluma de 12m, trabajando lateralmente o hacia atrás sobre calzos estabilizadores. (10 ton truck crane). Peso propio = 40t

4.4 Efecto que produce el buque hacia el muelle producto de los agentes medioambientales.

En el proyecto para el cálculo de fuerza horizontal ocasionado por el buque producto de los agentes medio ambientales se debe tener en cuenta para su diseño y revisión de las estructuras portuarias.

Como primer paso para el análisis de la fuerza horizontal ocasionada por el buque hacia la estructura del puerto se debe obtener las dimensiones, peso propio (tonelaje) del buque de proyectos a tomar.

Otros factores que son de gran importancia es la sobrecarga de operaciones del buque, que son aquellas cargas extremas producidas por la actuación directa o indirecta del buque sobre estructuras o instalaciones portuarias, como son el caso de:

- Carga de atraque.
- Cargas de amarres.
- Cargas de carena.
- Cargas de varada.

Estas cargas producidas por la actuación directa o indirecta del buque sobre estructuras o instalaciones portuarias se determinarán tomando en consideración los factores siguientes:

- Dimensiones, características estructurales y movimientos del buque.
- Características físicas de la instalación: emplazamiento, accesibilidad, protección.
- Factores operacionales: condiciones de aproximación a la instalación y métodos de operación y maniobra, frecuencia de llegadas.
- Naturaleza y características de la estructura resistente. Incluyendo la existencia y compatibilidad con diversos tipos de equipamientos como defensas, amarras. Bolardos, boyas de amarre, picaderos, carros de varada.
- Mareas, variaciones del nivel del mar y posibilidad deformaciones en el francobordo de los buques.
- Condiciones medioambientales: vientos, oleaje, corrientes, hielo.

El efecto que produce el buque hacia el muelle ocurre principalmente bajo dos condiciones de trabajo que son las importantes para su diseño y revisión:

a) Cuando el buque está amarrado en puerto. (cargas de amarres).

Son las cargas impuestas sobre una estructura por un buque atracada a través del contacto entre este y el estructura o el sistema de defensa, o a través de líneas de amarre tensionadas, también se consideran como las maniobras que produce el buque atracado especialmente en liberación o rotura de amarras en carga y el pretensionado de ellas como auxilio durante la maniobra de atraque.

Estas cargas son causadas por acciones exteriores, fundamentalmente medioambientales que ejercen sobre el buque atracado. Su magnitud y distribución dependerá principalmente de las características geométricas y físicas del sistema buque /atraques/defensas diseñado para hacer frente a los esfuerzos producidos por las acciones exteriores de modo que permita la realización de operaciones en el buque atracado dentro de unos límites en cuanto a movimientos admisibles (dependiente del tipo de buque y de la operación a llevar a cabo) y a esfuerzos máximos en amarres, defensas y buques.

Las principales fuerzas exteriores causantes son:

- Viento.
- Corrientes.
- Oleaje.
- Resonancias por fenómenos en ondas largas.
- Mareas.
- Ubicación del amarre en zonas con flujo o reflejos importantes de agua.
- Paso de otros buques.
- Carga/descarga del buque.

Esta fuerza ejercida por el amarre del buque se deriva en dos condiciones:

- La fuerza normal total que se considera como la suma de los efectos normales debido al viento, las normales debido a la corriente marítima, y las normales debido a las olas.
- La fuerza paralela total que se considera como la suma de las fuerzas paralelas debido al viento, a la corriente marítima, y las fuerzas paralelas debido a las olas.
- Fuerza de compresión sobre el muelle o amarradero producto del viento, las olas, y las corrientes marítimas.

b) Cuando el buque atraca (carga de atraque).

Son las cargas generadas entre el buque y la estructura de atraque desde el momento en que se produce el primer contacto entre ellos hasta que finalmente se alcanza el reposo.

- Carga de Impacto (R) (normales a la superficie de atraque).
- Cargas de Rozamientos (T) (paralelas a la superficie de atraque).

Las cargas de Impacto, normales a la superficie de atraque dependerán de los siguientes parámetros:

- La energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque.
- La excentricidad del atraque.

- La geometría de buque.
- La configuración geométrica de atraque.
- Las relaciones tensión/deformación en el buque, la estructura resistente y el sistema de defensa.

✓ Cargas de Rozamientos (T)

Son cargas paralelas a la superficie del sistema de defensa que actúan vertical y longitudinalmente en la zona de contacto entre el casco del buque y el sistema se atraque.

Estas fuerzas son las componentes tangenciales inducidas por oblicuidad del impacto y la geometría de buque en la zona de contacto. Para su determinación se considerará que en el momento de máxima deformación, en el punto de contacto atraque/buque no hay deslizamiento relativo, produciéndose únicamente una rotación del buque alrededor del punto de contacto; y que el sistema de defensa es capaz de de deformarse únicamente en la dirección normal a la superficie de atraque, aceptándose que defensa y estructura son rígidos en la dirección transversal.

4.4.1 Cálculo de la fuerza horizontal (Efecto producido por el buque hacia el muelle)

Como se señaló anteriormente para el cálculo de fuerza horizontal producto del impacto del buque hacia el muelle se debe tener en cuenta los agentes medioambientales que son los principales causantes de estas gran fuerza que es de gran importancia para las estructuras marinas, especialmente para sus componentes como es la cimentación (pilotes).

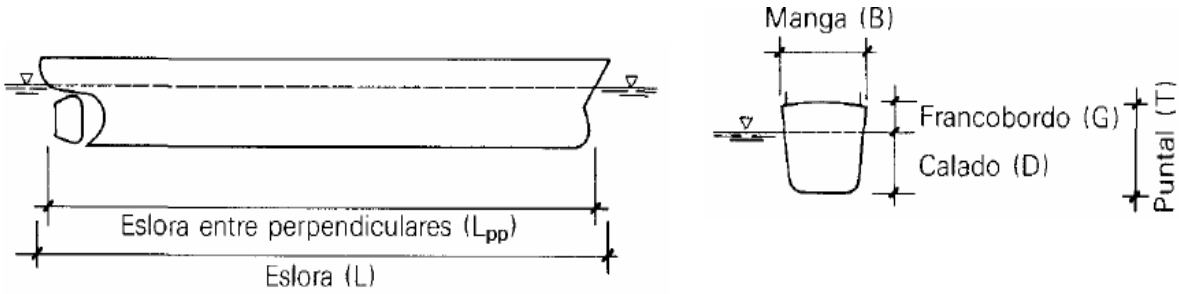
El principal agente medioambiental es la intensidad del viento (ráfaga) que bate hacia el buque cuando se encuentra amarrado o está atracando en el muelle causando la fuerza horizontal por el impacto del buque hacia el puerto.

A continuación se explica cómo se debe hallar esta fuerza horizontal producto del viento los principales requisitos a tener en cuenta. Para ello se consultó la tabla **3.4.2.3.5.9.** *(ESFUERZOS RESULTANTES DE LAS PRESIONES DEL VIENTO SOBRE LOS BUQUES.)*, de la Norma Española del año 2002, *ROM 0.2-90*: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias).

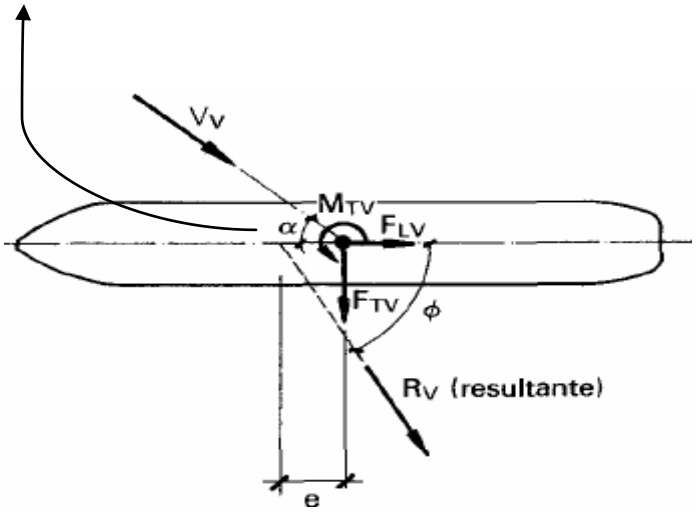
12. Tipo de buque de proyecto a evaluar que efectúa el atraque o amarrado.

13. Peso del buque (Tonelaje), ubicado en la Tabla 3.4.2.3.5.9 a)

14. Dimensiones del buque (Eslora total, Eslora entre perpendiculares, Manga, Calado, Francobordo y Puntal) de la Tabla 3.4.2.3.5.1.



15. Ángulo de inclinación del viento formado entre el eje longitudinal del buque. (α en grados).



16. Velocidad básica horizontal del viento de proyecto correspondiente. Vv1min = 22 m/s (≈ 80 km/h). Sin la adopción de medidas reductoras por variación de la configuración del buque.

17. La obtención de otros valores importantes como son [Peso específico del aire (ρ=1,225 · 10^{-3} t/m^3), Aceleración de la gravedad (g=9.81 m/s^2) y el Factor de norma (Cv=1.3)].

18. Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano transversal (h_T), obtenido de la Tabla 3.4.2.3.5.1.

19. Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano longitudinal (h_L), obtenido de la Tabla 3.4.2.3.5.1.

20. Área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento (A_T) esta depende de los siguientes factores como el Francobordo del buque (G) (Puntal - Calado), Manga del buque, y de la Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano transversal (h_T).

21. Área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento (A_L) esta depende de los siguientes factores como la Eslora entre perpendiculares del buque (Lpp), Francobordo del buque (G) (Puntal - Calado) y de la Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano longitudinal (h_L).

22. Cálculo de la fuerza resultante horizontal (Rv) a través de ecuación siguiente con los valores anteriores.

$$R_V = [(\rho / 2g) * C_V * V^2_V - (C_V * V^2_V) / 16000] * (A_T \cos^2\alpha + A_L \operatorname{sen}^2\alpha)$$

23. Cálculo de los componente en el sentido transversal (F_{TV}) y longitudinal (F_{LV}) del buque de la fuerza resultante.

$F_{TV} = R_V * \text{sen}Ø$ $\qquad$ $F_{LV} = Rv * \cos Ø$

$Ø = \tan^{-1}[(A_L / A_T) * \tan\alpha]$

Ø = formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación el viento, en grados.

24. Cálculo del momento resultante (M_{TV}) aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque.

$M_{TV} = F_{TV} * e = F_{TV} * Ke * L$

Ke = Coeficiente de excentricidad (a dimensional) que se halla en la Tabla **3.4.2.3.5.9. b)** del Capítulo 2.

L = Eslora Total, en metros.

4.5 Conclusiones Parciales

Una vez obtenido toda la información necesaria para la realización de la metodología para la revisión de puertos respecto a los parámetros fundamentales para su estudio arribamos a la siguiente conclusión.

1. La obtención de un documento como una guía metodológica para la ejecución de revisión de cualquier estructura portuaria en donde se encuentra toda la información necesaria con el propósito de adquirir una mayor confiabilidad o respuestas de los puertos al ser capaz de responder principalmente a la cargas o fuerzas horizontales y verticales ocasionadas por los buques y por el equipo de izaje (grúa) respectivamente, producidos por los agentes medioambientales y accidentales.

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

Conclusiones.

En este trabajo han sido investigadas diferentes problemáticas relacionadas con la actuación de las cargas o fuerzas verticales y horizontales las cuales actúan sobre los puertos por el equipo de manipulación de mercancías (grúa) y el buque, donde se han analizado los efectos que estos provocan hacia el muelle, llegando a conclusiones específicas de los epígrafes de la información obtenida. A continuación, se hace énfasis en aquellas conclusiones, que engloban el aporte de este trabajo al tema objeto de estudio:

1. La evaluación del efecto de los equipos de manipulación de mercancías (grúa) es muy importante pues estos ejercen una gran fuerza hacia las estructuras dependientemente de las condiciones medioambientales, principalmente la acción y velocidad del viento que existan en eso momento.

2. Es importante la evaluación del efecto que produce el buque hacia el muelle como una fuerza horizontal, dependiendo del tipo de buque que realiza la acción de atraque y amarre, ya que todos no ejerce la misma fuerza o carga por el impacto de este contra el muelle, producto de los agentes medioambientales principalmente la acción del viento y de su ángulo de actuación generando mayor carga hacia la estructura, afectando varios elementos del puerto como son las cimentaciones de pilotes, la losa, etc.

3. En el estudio de los Proyectos de investigación realizados en puertos Cubanos, el efecto del buque no se tiene en cuenta, pudiendo ser este un factor de extrema importancia.

4. En la literatura consultada se hace un estudio muy detallado de las combinaciones de cargas para el diseño de una estructura portuaria.

5. En la revisión de los puertos es importante tener en cuenta la metodología propuesta para la obtención de una mayor garantía de los puertos con respecto a su capacidad de carga y explotación.

6. En la determinación de las solicitaciones en los elementos estructurales, el empleo de la carga equivalente puede dar como resultado, mayores solicitaciones que las que realmente actúan en los elementos.

7. Es factible y racional, realizar una modelación de la estructura, teniendo en cuenta la magnitud y forma de aplicación de la carga vertical provocada por la grúa, en aras de determinar la verdadera capacidad estructural de los puertos, resultado avalado por los trabajos de investigación.

8. La obtención de un documento como una guía metodológica para la ejecución de revisión de cualquier estructura portuaria en donde se encuentra toda la información necesaria con el propósito de adquirir una mayor confiabilidad o respuestas de los puertos al ser capaz de responder principalmente a la cargas o fuerzas horizontales y verticales ocasionadas por los buques y por el equipo de izaje (grúa) respectivamente.

Recomendaciones.

No obstante los resultados obtenidos en esta investigación, todavía quedan muchos aspectos a tener presente en la revisión de puertos. Como recomendaciones y futuras líneas de investigación que continúen la presentada en este trabajo se pueden destacar las siguientes:

1. Hacer un análisis más generalizado de todos los aspectos importantes para la revisión de puertos.

2. La obtención de normas en nuestro país donde se especifiquen todas las recomendaciones, informaciones importantes como guía metodológica de diseño y/o revisión de puertos.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

1. Armando Frías V., Gonzalo Moreno C.;Ingeniería de Costas, Asociación Mexicana de. Ingeniería Portuaria. Editorial Limusa, S.A. de C.V. 1988, Segunda Edición.

2. Articulo Mantenimiento y monitoreo a las instalaciones hidrotécnicas, Autores: Ingenieros Inés Mellado Díaz y María Elena Riveira Ares, Centro de trabajo: RCB Sociedad Clasificadora. País: Cuba.

3. Bai, *Y.* (2001), *"Pipelines and Risers",* Vol. 3 of the Elsevier Ocean Engineering Book Series, London, ISBN 0-08-043712-5.

4. Bai, *Y.,* Ayney, C., Huang, E., Maher, J., Parker, G., Song, R. and Wan& M. (2001), *"Design and Construction of Floating Production Systems",* Course Notes for an Industry Training Course led by Yong Bai and Organised with Clarion Technical Conferences in Houston and IBC in London.

5. Bhattacharyya, R (1978), *"Dynamics of Marine Vehicles",* John Wiley & Sons, Inc. Chakrabarti, S.K., (1987), *"Hydrodynamics of Ofshore Structures",* Computational Mechanics Publications.

6. CMPT *(1998), "Floating Structures: A Guide for Resign and Analysis",* Edited by N. Baltrop, Oilfield Publications, Inc.

7. Curso-Taller de Ingeniería de Costas, Universidad Federico Santa María, Valparaíso, Chile; Septiembre de 1992

8. Department of Transport of UK,"Management of maintenance and rehabilitation of old wall"

9. Dr. Ingeniero: Francisco A. Medina Torri profesor Titilar, Cargas de edificaciones y obras de ingeniería, Tomo I, año 1996

10. Estudio de Agitación en Modelo Numérico Atria Engineering Inc. Canadian Hydraulics Center Geoténica Consultores S.A. Chile. Agosto 1997.

11. Faltinsen, O.M. *(1990), "Sea Loads on Ships and mshore Structures",* Cambridge Ocean Technology Series, Cambridge University Press.

12. Feliú, S. Andrade, "Manual de Inspección de Obras Dañadas por corrosión de las armaduras."Centro de Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) y el Instituto Eduardo Torrojas de Ciencias de la Construcción, Madrid, 1989.

13. Fernando Ortega Ángel, Martínez Clemente Mercedes Modelo de cálculo y proceso de parámetros oceanográficos I.Oleaje, Centro de Estudios de puertos y Costas (CEPYC), Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y medio Ambiente, Madrid, España. 1993

14. Guillermo Macdonel M, Julio Pindter V. Ingeniería Marítima y Portuaria Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México ,D. F.,1999

15. Jensen, J. J. *(2001), "Load and Global Response of Ships",* Elsevier Ocean Engineering Series, Vo1.4.

16. Manual de Aprobación de la Seguridad de las Obras de Ingeniería (MASOI).

17. Metodología integrada para la revisión de evaluación de impacto (MIREIA), Análisis del Marco Legal e Institucional Peruano para la Evaluación de Impacto Ambiental. Lima, Mayo del año 2000.

18. Norma Española ROM 0.0. Procedimiento general y requisitos en el diseño de puerto y estructuras marítimas. Año 2002.

19. Norma Española ROM 0.5-94. Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias. Año 1994

20. Norma Española ROM 3.1-99. Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación. Año 2000.

21. Norma Española ROM0.2-90 Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias, año 2002.

22. Norma GBP-Cap.3: Buenos habitos

23. Norma Mexicana Inspección, Evaluación y Mantenimiento de ductos Marinos, del 11 de febrero del año 2007.

24. Salmon, C.G. and Johnson, J.E. *(1995), "Steel Structures, Design and Behavior",* 4th Edition, Harper Collins College Publishers.

25. Sarafin, T.P. *(1 999, "Spacecraft Structures and Mechanism",* Space Technology Series, Micrcosm & Kluwer Academic Publishers.

26. Sarpkaya, T and Isaacson, M *(1981), "Mechanics of Wave Forces on QfJshore Structures",* Van Nostrand Reinhold Co.

27. Shore Protection Manual, Volumen I, II: Coastal Engineering Research Center Department of the Army. US Army CorpsEngineers, Washington, DC 20314,1984, Fourth Edition.

28. Standard Handbook for Civil Engineers. COASTAL AND PORT ENGINEERING. Downloaded from Digital Engineering Library @ McGraw-Hill. www.digitalengineeringlibrary.com). Copyright © 2004 The McGraw-Hill Companies.

29. Streeter VictorL., Wylie E. Benjamin. Mecánica de los Fluidos, Ed. Mc Graw-Hill, 3era. Edición en Español, México. 1996.

Bibliografía consultada en internet.

30. Transporte - Wikipedia, la enciclopedia libre

http://es.wikipedia.org/wiki/Transporte

31. **Diseño** de **puertos** fluviales
Http://www.todoarquitectura.com/v2/foros/topic.asp?Topic_ID...

32. Procedimiento para el **diseño** del sistema de planificación y

http://www.gestiopolis.com/.../planificacion-y-control-de-la-logistica-de-**carga**.htm

33. **Puertos** - TIC :: Trafico Internacional de **Carga** : Bienvenidos
http://www.ticaduanal.com/**puertos**.htm

34. La función logística de los **puertos**http://www.logistica.enfasis.com/.../3846-la-funcion-logistica-los-**puertos**

36 **DISEÑO** DE MUELLES : Ingenieria Sismica - Sismología
http://www.foros.construaprende.com/**diseno**-de-muelles-vt3320.html

35. Necesito enviar **carga** a **Puerto** Vallarta Mexico - La Reina **...**

http://www.needish.com/.../necesito-enviar-**carga**-a-**puerto**-vallarta-mexico

36. Modelado y análisis de un **puerto** seco mediante simulación

http://www.io.us.es/cio2006/docs/000177_final.pdf

37. Corral se prepara para recibir **carga** de **puertos** dañados por terremoto

http://www.mundomaritimo.cl/.../corral-se-prepara-para-recibir-**carga**-de-**puertos**-danados-por-terremoto -

38. MANUAL DE **DISEÑO** DE PAVIMENTOS PARA **PUERTOS** CHILENOS Preparado por

http://www.dop.cl/.../Manual%20de%20**Diseño**%20para%20Pavmentos%20Portuarios%20Chilen.

39. Metodología para la rehabilitación y mantenimiento de obras **...**

http://www.monografias.com › Filosofia

40. **Puertos** marítimos 2.1 Tipos de **puertos** 2.2 - 2. **Puertos** marítimos **...**

http://www.cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020111692/1020111692_010.pdf

41. MCS Daniela, el portacontenedor que más **carga** | **Puerto** Bahía de **...**

http://www.**puerto**algeciras.org/.../mcs-daniela-el-portacontenedor-que-ms.html

ANEXOS

Anexos

TABLA 3.4.2.3.2.1. *(CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS EQUIPOS SOBRE CARRILES: GRÚAS PÓRTICO.)*

EQUIPO	Definición geométrica (en m)	HIPÓTESIS DE TRABAJO		TREN TIPO (en t/m)		
				Grúa Pórtico con el brazo en posición lateral centrada, perpendicular a los carriles.	Grúa Pórtico con el brazo en esquina.	Grúa Pórtico con el brazo en posición lateral centrada, paralela a los carriles.
De 6 ton de capacidad y de 25m de brazo de alcance. (peso propio ≈86 t)	a = 6 b = 2 a 3 c = 1 d = 5	En condiciones normales de operación	Sin viento	q1 = 36 q2 = 10	q1 = 40 q3 = 22 q2 = 22 q4 = 8	q1 = 36 q2 = 10
			Con viento	q1 = 40 H_{VT} =2,5 q2 = 6 H_{VL} = 0	q1 =44 q3 = 22 H_{VT} = 1,8 q2 =22 q4 = 4 H_{VL} = 1,8	q1 = 40 H_{VT} = 0 q2 = 6 H_{VL} = 2,5
		En condiciones extremas		q1 = 37 H_{VT} = 8 q2 = 6 H_{VL} = 0	-	q1 = 37 H_{VT} = 0 q2 = 6 H_{VL} = 8
De 12 ton de capacidad y de 25 m de brazo de alcance. (peso propio ≈200 t)	a=10 b = 2ª3 c=3 d = 6	En condiciones normales de operación	Sin viento	q1 = 25 q2 = 10	q1 = 28 q3 = 17 q2 = 17 q4 = 8	q1 = 25 q2 = 10
			Con viento	q1 = 27 H_{VT} = 1 q2 = 8 H_{VL} = 0	q1=30 q3 = 17 H_{VT}=0,75 q2=17 q4= 6 H_{VL}=0,75	q1 = 27 H_{VT} = 0 q2 = 8 H_{VL} = 1
		En condiciones extremas		q1 = 24 H_{VT} = 3 q2 = 9 H_{VL} = 0	-	q1 = 24 H_{VT} = 0 q2 = 9 H_{VL} = 3
De 16 ton de capacidad y de 35 m de brazo de alcance. (peso propio ≈264 t)	a = 10 b = 2a3 c = 4 d = 6	En condiciones normales de operación	Sin viento	q1 = 25 q2 = 10	q1 = 28 q3 = 18 q2 = 18 q4 = 6	q1 = 25 q2 = 10
			Con viento	q1 = 27 H_{VT} = 0,7 q2 = 8 H_{VL} = 0	q1=32 q3=18 H_{VT} = 0,5 q2=18 q4= 2 H_{VL} =0,5	q1 = 27 H_{VT} = 0 q2 = 8 H_{VL} = 0,7
		En condiciones extremas		q1 = 24 H_{VT} = 2,5 q2 = 9 H_{VL} = 0	-	q1 = 24 H_{VT} = 0 q2 = 9 H_{VL} = 2,5
De 25 ton de capacidad y de 30m de brazo de alcance. (peso propio	a = 10 b = 2,5 a 3 c = 224 d = 5	En condiciones normales de operació	Sin viento	q1 = 32 q2 = 10	q1 = 38 q3 = 21 q2 = 21 q4 = 5	q1 = 32 q2 = 10
			Con viento	q1 = 35 H_{VT} = 0,75 q2 = 7 H_{VL} = 0	q1 = 40 q3 = 21 H_{VT} =0,55	q1 = 35 H_{VT} = 0 q2 = 7 H_{VL} = 0,75

≈312 t)		n			q2 = 21 q4= 3 H_{VL} =0,55	
		En condiciones extremas		q1 = 29 H_{VT} = 3 q2 = 10 H_{VL} = 0	-	q1 = 29 H_{VT} = 0 q2 = 10 H_{VL} = 3
De 35ton de capacidad y de 30 m de brazo de alcance. (peso propio ≈410 t)	a = 10 b = 2,5 a 3 c = 6 d = 3	En condiciones normales de operación	Sin viento	q1 = 27 q2 = 10	q1 = 34 q3 = 19 q2 = 19 q4 = 2	q1 = 27 q2 = 10
			Con viento	q1 = 30 H_{VT} = 0,6 q2 = 7 H_{VL} = 0	q1=36 q3=19 H_{VT} = 0,45 q2=19 q4= 0 H_{VL} = 0,45	q1 = 30 H_{VT} = 0 q2 = 7 H_{VL} = 0,6
		En condiciones extremas		q1 = 25 H_{VT} = 2,2 q2 = 9 H_{VL} = 0	-	q1 = 25 H_{VT} = 0 q2 = 9 H_{VL} = 2,2
De 50 ton de capacidad y de 35 m de brazo de alcance. (peso propio ≈622 t)	a = 10 b = 3 c = 8 d = 1,5	En condiciones normales de operación	Sin viento	q1 = 32 q2 = 10	q1 = 38 q3 = 20 q2 = 20 q4 = 6	q1 = 32 q2 = 10
			Con viento	q1 = 34 H_{VT} = 0,5 q2 = 8 H_{VL} = 0	q1 = 40 q3 = 20 H_{VT} = 0,35 q2 = 20 q4= 4 H_{VL} = 0,35	q1 = 34 H_{VT} = 0 q2 = 8 H_{VL} = 0,5
		En condiciones extremas		q1 = 27 H_{VT} = 2 q2 = 12 H_{VL} = 0	-	q1 = 27 H_{VT} = 0 q2 = 12 H_{VL} = 2

LEYENDA:

a = ancho de la grúa
b = espaciamiento entre la pata de grúa y el limite exterior de la zona de operación lado mar (cantil del muelle).
c = longitud de la huella de las patas de la grúa.
d = espaciamientos entre las patas de la grúa.

qi: Carga vertical por metro lineal correspondiente a cada pata de la grúa.
H_{VT}: Carga horizontal por metro lineal transversal al carril, debida al viento, correspondiente a cada pata de la grúa.
H_{VL}: Carga horizontal por metro lineal longitudinal al carril, debida al viento, correspondiente a cada pata de la grúa.

COMENTARIOS:

- Los valores dados en esta tabla no incluyen efectos dinámicos producidos fundamentalmente por fuerzas inerciales (aceleración y deceleración en movimientos de elevación, traslación, giros y cambios de alcance). Dichos efectos se valorarán según los criterios del parágrafo «Efectos dinámicos».

- Los Trenes Tipo equivalentes a cada pata de grúa podrán invertir el orden de actuación, con objeto de tener en cuenta todas las posiciones posibles del brazo. Por la misma razón podrán aplicarse indistintamente a cualquier carril.

- Para estructuras o elementos estructurales de especial sensibilidad a las cargas concentradas podrá discretizarse cada grupo de cargas lineales correspondientes a cada pata de grúa en cargas puntuales, adoptando los siguientes números de ruedas por pata, en función de la carga admisible sobre el carril.

Grúa Pórtico de 6 t... 2
Grúa Pórtico de 12 t.....4
Grúa Pórtico de 16 t.....4 o 6
Grúa Pórtico de 25 t.....6
Grúa Pórtico de 35 t 6
Grúa Pórtico de 50 t.....8

Se considerará que la separación entre ruedas es homogénea y que ocupa totalmente la longitud asignada a cada carga lineal.

- Se ha tomado como velocidad del viento en condiciones extremas V3s = 40 m/s. Para la velocidad del viento correspondiente al periodo de retorno del proyecto podrán admitirse correcciones en el valor de las cargas adicionales debidas al viento en esta hipótesis de trabajo (carga total en tablas sobre cada pata . reparto uniforme del peso propio de la grúa sobre cada pata), mediante el factor:

$$\frac{[(V_{3S})T]^2}{40^2}$$

Siendo $(V_{3s})T$ la velocidad de ráfaga 3 s correspondiente al periodo de retorno del proyecto, en m/s.
En condiciones normales de operación la velocidad del viento límite de operatividad es de 22 m/s.

Para ***GRUA PORTACONTENEDORES*** de 38 t de capacidad de carga (utilizadas para contenedores de 12.0 m). Alcance lado mar de 30 m. (Peso propio = 500 t)

<table>
<tr><td>Definición Geométrica (en m)</td><td colspan="3">HIPÓTESIS DE TRABAJO</td></tr>
<tr><td rowspan="5">a = 15
b = 3
c = 7,5
d = 9</td><td colspan="3">EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Carro máximo alcance y carga completa lado mar</td><td>Sin viento</td><td>q1 = 30
q2 = 5</td></tr>
<tr><td>Con viento transversal o longitudinal.
Límite de operatividad:
V3S = 22 m/s</td><td>q1 = 32 ± 2
q2 = 5 ± 2
H_{VT} O HVL = 0,55</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Carro máximo alcance y carga completa lado</td><td>Sin viento</td><td>q1 = 15
q2 = 20</td></tr>
<tr><td>Con viento transversal o</td><td>q1 = 15 ± 2</td></tr>
</table>

	tierra	longitudinal. Límite de operatividad: V_{3s} = 22 m/s	q2 = 20 ± 2 HVT ó HVL = 0,55
	EN CONDICIONES EXTREMAS DE OPERACIÓN		
	Pluma recogida Carro y cabina en posición de aparcamiento	Con viento transversal al carril V_{3s} = 40 m/s	q1 = 15 ± 6 q2 = 18 ± 6 H_{VT} = 2
		Con viento longitudinal al carril V_{3s} = 40 m/s	q1 = 15 ± 6 q2 = 18 ± 6 H_{VL} = 2
Para ***GRUA PORTACONTENEDORES*** de 53 t de capacidad de carga (utilizadas para contenedores de 12.2 metros o de 2 x 11.1metros.). Alcance lado mar de 35 m (Peso propio ≅ 800 t).			
Definición Geométrica (en m)	HIPÓTESIS DE TRABAJO		
a= 18 b= 3 c= 10,5 d= 6	EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN		
	Carro máximo alcance y carga completa lado mar	Sin viento	q1 = 30 q2 = 10
		Con viento transversal o longitudinal. Límite de operatividad: V_{3s} = 22 m/s	q1 = 30 ± 2 q2 = 10 ± 2 H_{VT} o H_{VL} = 0,50
	Carro máximo alcance y carga completa lado tierra	Sin viento	q1 = 15 q2 = 25
		Con viento transversal o longitudinal. Límite de operatividad: V_{3s} = 22 m/s	q1 = 15 ± 2 q2 = 25 ± 2 H_{VT} ó H_{VL} = 0,55
	EN CONDICIONES EXTREMAS DE OPERACIÓN		
	Pluma recogida Carro y cabina en posición de aparcamiento	Con viento transversal al carril V_{3s} = 40 m/s	q1 = 15 ± 6 q2 = 22 ± 6 H_{VT} = 2
		Con viento longitudinal al carril V_{3s} = 40 m/s	q1 = 15 ± 6 q2 = 22 ± 6 H_{VT} = 2
LEYENDA:			

a = ancho de la grúa
b = espaciamiento entre la pata de grúa y el limite exterior de la zona de operación lado mar (cantil del muelle).
c = longitud de la huella de las patas de la grúa.
d = espaciamientos entre las patas de la grúa.

qi = Carga vertical por metro lineal correspondiente a cada pata de la grúa.

H_{VT} ó H_{VL}: Carga horizontal (longitudinal o transversal) por metro lineal, debida al viento, correspondiente a cada pata. Su distribución es homogénea con la carga vertical.
El sentido de actuación de la carga será asimismo compatible con la dirección del viento considerada y por tanto con las sobrecargas verticales asociadas a dicha dirección.

COMENTARIOS:

- Los valores dados en esta tabla no incluyen los efectos dinámicos producidos fundamentalmente por fuerzas inerciales (aceleraciones y deceleraciones en movimientos de elevación y traslación). Dichos efectos se valorarán según los criterios del parágrafo «Efectos dinámicos».
- Los Trenes Tipo equivalentes a grúas portacontenedores deberán aplicarse estrictamente en el orden consignado en tablas respecto al límite lado mar de la zona de operación, no pudiendo aplicarse indistintamente a cada carril debido a la asimetría de distribución de cargas entre los carriles lado de tierra y lado de mar que se produce en este tipo de grúas.
- Para estructuras o elementos estructurales de especial sensibilidad a las cargas concentradas, podrá discretizarse cada grupo de cargas lineales correspondientes a cada pata de grúa en cargas puntuales, adoptando 6 o 8 ruedas por pata en función de la carga máxima admisible sobre el carril. Se considerará que la separación entre ruedas es homogénea y que ocupa totalmente la longitud asignada a la carga lineal.
- Se ha tomado como velocidad del viento en condiciones extremas V3s = 40 m/s. Para la velocidad del viento correspondiente al periodo de retorno del proyecto podrán
admitirse correcciones en el valor de las cargas adicionales debidas al viento mediante el factor

$$\frac{[(V_{3S})T]^2}{40^2}$$

Siendo $(V_{3S})T$ la velocidad de ráfaga 3 segundos correspondiente al periodo de retorno del proyecto en m/s.

TABLA 3.4.2.3.2.3. ***(****CARGAS TRANSMITIDAS POR EQUIPOS TIPO DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS USUALES EN ZONAS PORTUARIAS. EQUIPOS SOBRE NEUMÁTICOS Y ORUGAS****.)***

TREN TIPO - Unidades de longitud en m. - Carga en toneladas.	Sobrecarga uniforme equivalente (t/m2)	EQUIVALENCIA FÍSICA

Grúa de 1.0 x 2.7 metros que baja 0.75 Ton por los apoyos delantero y 3.0 Ton por los apoyos traseros.	1,50	Carretilla pórtico portacontenedores de 13 m de longitud, 40 t. (Straddle carrier). Peso propio = 30t
Grúa de 2.0 x 3.0 metros que baja 3.0 Ton por los apoyos delantero y 11.0 Ton por los apoyos traseros.	2.50	Carretilla elevadora/transportadora de horquilla de 20 t de capacidad de carga nominal. (Fork-lift trucks). Peso propio = 30t
Grúa de 3.0 x 6.0 metros que baja 3.0 Ton por los apoyos delantero y 11.0 Ton por los apoyos traseros.	4	Carretilla elevadora/transportadora de horquilla de 40 t de capacidad de carga nominal. (Fork-lift trucks). Peso propio = 80t
Carretilla de 7.50 metros que baja por los apoyos 23.0 Ton.	1.50	Carretilla de carga lateral de 40 t de capacidad de carga nominal, sobre calzos estabilizadores. (Sideloaders trucks). Peso propio = 50t.
Grúa de 3.50 x 4.0 metros que baja 13.0 Ton por los apoyos	1.50	Carretilla pórtico portacontenedores de 13 m de longitud, 40 t. (Straddle carrier). Peso propio = 30t
Grúa de 4.0 x 5.0 metros que baja 15.0 Ton por los apoyos delantero y 10.0 Ton por los apoyas traseros.	3.00	Grúa móvil de 10 t de capacidad de elevación recomendable con radios cortos y longitud de pluma de 12 m, trabajando lateralmente o hacia atrás sobre calzos estabilizadores. (10 ton truck crane). Peso propio = 40t
Grúa de 5.0 x 5.0 metros que baja 40.0 Ton por los apoyos delantero y 30.0 Ton por los apoyas traseros	6.00	Grúa móvil de 30 t de capacidad de elevación recomendable con radios cortos y longitud de pluma de 12 m, trabajando lateralmente o hacia atrás sobre calzos estabilizadores. (30 ton truck crane). Peso propio = 110t
Grúa de 6.0 x 6.0 metros que baja 55.0 Ton por los apoyos delantero y 45.0 Ton por los apoyas traseros	9.00	Grúa móvil de 50 t de capacidad de elevación recomendable con radios cortos y longitud de pluma de 12 m, trabajando lateralmente o hacia atrás sobre calzos estabilizadores. (50 ton truck crane). Peso propio = 150t
Grúa de 6.0 x 7.0 metros que baja 75.0 Ton por los apoyos delantero y 60.0 Ton por los apoyas traseros	12.00	Grúa móvil de 70 t de capacidad de elevación recomendable con radios cortos y longitud de pluma de 12 m, trabajando lateralmente o hacia atrás sobre calzos estabilizadores. (70 ton truck crane). Peso propio = 200t.

Grúa de 7.0 x 10.0 metros que baja 110.0 Ton por los apoyos delantero y 80.0 Ton por los apoyas traseros	14,00	Grúa móvil de 140 t de capacidad de elevación recomendable con radios cortos (3,6 m) y longitud de pluma de 15 m, trabajando lateralmente o hacia atrás sobre calzos estabilizadores. (140 ton truck crane) Peso propio = 240t.
Grúa de oruga de 2.6 metros que baja 15.0 ton por el apoyo.	-	Grúa de oruga de 6 t de máxima capacidad de elevación con radios cortos (3 m) y longitud de pluma de 6 m, trabajando lateralmente. (6 t Tracked crane). Peso propio = 12t.
Grúa de oruga de 4.0 metros que baja 60.0 ton por el apoyo.	-	Grúa de oruga de 30 t de máxima capacidad de elevación con radios cortos (3 m) y longitud de pluma de 10 m, trabajando lateralmente. (30 t Tracked crane). Peso propio = 40t
Grúa de oruga de 4.5 metros que baja 120.0 ton por el apoyo.	-	Grúa de oruga de 50 t de máxima capacidad de elevación con radios cortos (3,6 m) y longitud de pluma de 12 m, trabajando lateralmente. (50 t Tracked crane). Peso propio = 60t.

NOTAS:

- Se entiende por sobrecarga uniforme equivalente la carga uniformemente repartida equivalente al tren móvil, extendido en un área aproximadamente coincidente con el área del vehículo tipo (área equivalente).

Ejemplo:

Para una carretilla elevadora/transportadora de 20 t.

Peso total cargado: 30 + 20 = 50 t.

Sobrecarga equivalente: 2,5 t/m2.

Área equivalente: $\frac{50\ \text{t}}{2.5\ \text{t/m}^2} = 20\text{m}^2$ (4,5 x 4,5 m^2)

- Los trenes de cargas reflejados en estas tablas no tienen en cuenta factores como la actuación de acciones medioambientales sobre la maquinaria o la carga, desniveles del suelo, velocidades de operación u otros efectos dinámicos.

En general podrán despreciarse las cargas medioambientales en condiciones normales de operación.

EFECTO VIENTO – BUQUE

Tabla **3.4.2.3.5.9 a)** de los valores usuales de (h_L y h_T) y el tonelaje de los buques de proyecto.

Tipo de de buques	Tonelaje	Alturas medias (m)	Tipo de buques	Tonelaje	Alturas medias (m)

		h_T	h_L
PORTAGRANELES Y POLIVALENTES	**TPM**		
	300.000	25,00	5,00
	250.000	23,00	5,00
	200.000	21,00	5,00
	150.000	19,00	5,00
	10.000	16,50	5,00
	90.000	16,00	5,00
	70.000	14,00	5,00
	50.000	13,00	5,00
	40.000	12,00	5,00
	30.000	11,00	5,00
	20.000	10,00	5,00
	15.000	9,50	5,00
	10.000	9,00	5,00
PETROLEROS	**TPM**		
	500.000	32,00	4,00
	400.000	29,00	3,80
	300.000	25,00	3,70
	250.000	23,00	3,60
	200.000	21,00	3,40
	150.000	19,00	3,20
	120.000	17,50	3,10
	100.000	16,50	3,00
	80.000	15,00	2,90
	70.000	14,50	2,80
	60.000	14,00	2,70
	50.000	13,00	2,60
	40.000	12,00	2,40
	30.000	11,00	2,20
	20.000	10,00	2,00
	15.000	9,50	2,00
	10.000	9,00	2,00
	5.000	8,50	2,00
	3.000	8,00	2,00
	2.000	7,50	2,00
	1.000	7,00	2,00
	700	7,00	2,00
METANEROS	**TPM**		
	75.000	19,00	10,00

		h_T	h_L
TRANSPORTADORES DE GASES LICUADOS	**TPM**		
	60.000	14,50	4,00
	47.000	13,80	4,00
	40.000	13,00	4,00
	18.000	10,00	4,00
	16.000	9,50	4,00
	5.000	7,50	6,20
	3.000	7,00	5,00
MERCANTES DE CARGA GENERAL	**TPM**		
	50.000	18,00	5,00
	40.000	17,00	5,00
	30.000	16,00	5,00
	20.000	14,00	5,00
	15.000	13,00	5,00
	10.000	11,50	5,00
	9.000	11,00	5,00
	8.000	10,00	5,00
	7.000	9,50	5,00
	6.000	9,00	5,00
	5.000	8,50	5,00
	4.000	8,00	5,00
	3.000	7,50	5,00
	2.000	7,00	5,00
	1.000	6,50	5,00
	700	6,00	5,00
PORTACONTENEDORES Y RO - RO	**TPM**		
	50.000	18,00	8,50
	42.000	17,00	8,50
	36.000	16,00	8,50
	30.000	13,50	8,50
	25.000	12,00	8,50
	20.000	10,50	8,00
	15.000	9,00	7,50
	10.000	8,00	7,50
	7.000	7,00	7,50
PESQUEROS	**TRB**		
	2.500	8,00	5,00

		50.000	13,80	8,00			2.000	7,50	5,00
		20.000	12,00	6,00			1.500	7,00	5,00
		4.000	9,00	6,00			1.000	6,80	5,00
DE PASAJEROS	TRASATLANTICOS	**TRB**					800	6,50	5,00
		50.000	17,00	14,00			600	6,00	5,00
		40.000	16,50	13,00			400	5,70	5,00
		30.000	15,00	12,50			200	5,50	5,00
		20.000	14,50	12,00	EMBARCACIONES DEPORTIVAS	A MOTOR	**t**		
		15.000	14,00	11,60			50,0	5,50	4,00
		10.000	13,50	11,20			35,0	5,00	3,50
		9.000	13,00	11,00			27,0	4,40	3,00
		8.000	12,80	10,70			16,5	4,00	2,80
		7.000	12,40	10,30			6,5	3,40	2,40
		6.000	12,00	10,00			4,0	2,70	2,00
		5.000	11,80	9,80			1,3	2,10	1,50
		4.000	11,50	9,60		A VELA	**t**		
		3.000	11,00	9,40			60,0	4,60	5,50
		2.000	10,00	8,50			40,0	4,30	5,00
		1.000	9,00	7,80			20,0	4,00	4,80
		500	8,00	7,00			13,0	3,70	4,50
	TRANSBORDADORES	**TRB**					10,0	3,40	4,20
		13.000	17,00	14,00			3,5	3,00	4,00
		10.000	15,50	13,00			1,5	2,70	3,00
		8.000	14,00	12,00					
		6.000	12,00	10,50					
		4.000	10,00	9,00					
		3.000	9,00	8,00					
		2.000	8,00	7,00					
		1.000	7,00	6,00					

Tabla 3.4.2.3.5.1. valores usuales de B, G y Lpp

TIPO	Tonelaje	Eslora total (m)	Manga (m)	Puntal (m)	Calado máximo (m)	TIPO	Tonelaje	Eslora total (m)	Manga (m)	Puntal (m)	Calado máximo (m)

PORTAGRANELES Y POLIVALENTES	**TPM**					TRANSPORTADORES DE GASES LICUADOS	**TPM**				
	300.000	356	57,0	28,8	22,0		60.000	256	35,5	23,5	13,6
	250.000	348	51,8	27,0	20,4		47.000	229	36,0	21,0	12,1
	200.000	325	47,2	26,0	19,2		40.000	206	31,4	18,6	11,3
	150.000	313	44,5	24,7	18,0		18.000	157	25,3	16,0	10,1
	100.000	275	42,0	20,3	15,1		16.000	151	25,0	14,3	9,6
	90.000	260	39,7	29,7	14,6		5.000	106	17,0	10,0	7,4
	70.000	244	37,8	18,7	13,3		3.000	75	14,0	7,9	6,8
	50.000	222	32,6	16,8	11,9	MERCANTES DE CARGA GENERAL	**TPM**				
	40.000	208	30,2	15,9	11,4		50.000	232	30,0	18,4	12,7
	30.000	192	27,3	14,5	10,6		40.000	217	28,3	17,2	11,9
	20.000	170	23,7	12,9	9,6		30.000	199	26,1	15,7	11,0
	15.000	157	21,5	11,9	9,0		20.000	177	23,4	13,8	10,0
	10.000	140	18,7	10,5	8,1		15.000	162	21,7	12,7	9,1
PETROLEROS	**TPM**						10.000	144	19,4	11,2	8,2
	500.000	368	69,2	32,2	25,5		9.000	139	18,9	10,8	8,0
	400.000	348	65,5	28,8	22,8		8.000	135	18,3	10,4	7,8
	300.000	325	57,0	28,4	22,4		7.000	129	17,6	10,0	7,5
	250.000	291	51,8	26,0	20,4		6.000	124	16,9	9,5	7,2
	200.000	280	47,2	24,7	19,2		5.000	103	15,4	8,4	6,8
	150.000	270	44,2	23,0	17,9		4.000	95	14,4	7,8	6,4
	120.000	255	41,0	21,0	15,0		3.000	86	13,2	10,5	8,1
	100.000	25	39,0	19,2	14,6		2.000	74	11,7	6,3	5,1
	80.000	0	37,5	18,7	14,0		1.000	58	9,5	5,1	4,2
	70.000	23	35,9	18,4	13,6		700	51	8,5	4,6	3,8
	60.000	0	34,0	17,0	13,0	PORTACONTENEDORES	**TPM**				
	50.000	226	32,1	16,1	12,5		50.000	290	32,4	24,2	13,0
	40.000	211	29,9	15,4	11,7		42.000	285	32,3	22,4	12,0
	30.000	194	27,2	14,1	10,9		36.000	270	31,8	21,4	11,7
	20.000	171	23,8	12,4	9,8		30.000	228	31,0	20,3	11,3
	15.000	157	21,7	11,3	9,0		25.000	212	30,0	19,2	10,7
	10.000	139	19,0	9,9	8,1		20.000	198	28,7	17,5	10,0
	5.000	102	14,7	7,6	6,9		15.000	180	26,5	15,6	9,0
	3.000	85	12,8	6,4	5,8		10.000	159	23,5	13,6	8,0
	2.000	73	11,4	5,6	5,1		7.000	143	19,0	11,0	6,5
	1.000	57	9,4	4,5	4,2	RO - RO	**TPM**				
	700	50	8,5	4,0	3,7		20.000	205	30,0		9,5

METANEROS	**TPM**							15.000	190	27,0		8,3
	75.000	294	43,4	26,1	12,9			10.000	170	23,0		7,0
	50.000	257	34,8	20,7	11,5			7.500	155	21,5		6,4
	20.000	182	29,0	16,5	9,0			5.000	135	20,0		5,5
	4.000	107	17,4	9,4	6,1			2.500	105	18,0		5,0
DE PASAJEROS / TRASATLANTICOS	**TRB**					MILITARES		**TPM**				
	50.000	291	31,2	18,0	10,5		a	16.000	172	23,0		8,2
	40.000	260	29,7	17,5	10,2		b	15.000	195	24,0		9,0
	30.000	223	28,2	17,0	10,0		c	6.000	117	16,8		3,7
	20.000	197	25,1	15,1	9,2		d	4.000	134	14,3		7,9
	15.000	181	23,1	13,9	8,8		e	3.500	120	12,5		5,5
	10.000	160	20,6	12,3	8,2		f	1.500	90	9,3		5,2
	9.000	155	20,0	12,0	8,0		g	1.500	68	6,8		5,4
	8.000	150	19,3	11,6	7,8		h	1.400	89	10,5		3,5
	7.000	144	18,6	11,1	7,7		i	750	52,3	10,4		4,2
	6.000	138	17,8	10,6	7,4		j	400	58	7,6		2,6
	5.000	135	17,2	8,4	6,0		(*)	130	36	5,8		2,5
	4.000	123	16,3	7,8	5,6			85	30	5,3		1,5
	3.000	109	15,3	7,1	5,1	EMBARCACIONES DEPORTIVAS	A MOTOR	**t**				
	2.000	92	13,9	6,2	4,5			50,0	24,0	5,5		3,3
	1.000	68	11,9	5,0	3,6			35,0	21,0	5,0		3,0
	500	51	10,2	4,0	2,9			27,0	18,0	4,4		2,7
TRANSBORDADORES	**TRB**							16,5	15,0	4,0		2,3
	13.000	195	24,0	16,1	6,7			6,5	12,0	3,4		1,8
	10.000	168	24,0	14,7	6,5			4,0	9,0	2,7		1,5
	8.000	155	21,8	13,2	6,1			1,3	6,0	2,1		1,0
	6.000	138	21,4	12,7	5,9		A VELA	**t**				
	4.000	122	20,0	11,2	5,3			60,0	24,0	4,6		3,6
	3.000	105	17,7	10,5	5,0			40,0	21,0	4,3		3,0
	2.000	90	16,2	9,8	4,3			20,0	18,0	4,0		2,7
	1.000	75	13,4	5,0	4,0			13,0	15,0	2,7		2,4
PESQUEROS	**TRB**							10,0	12,0	3,5		2,1
	2.500	90	14,0	6,8	5,9			3,5	9,0	3,3		1,8
	2.000	85	13,0	6,4	5,6			1,5	6,0	2,4		1,5
	1.500	80	12,0	6,0	5,3							
	1.000	75	11,0	5,7	5,0							
	800	70	10,5	5,4	4,8							

	600	65	10,0	5,1	4,5
	400	55	8,5	4,5	4,0
	200	40	7,0	4,0	3,5

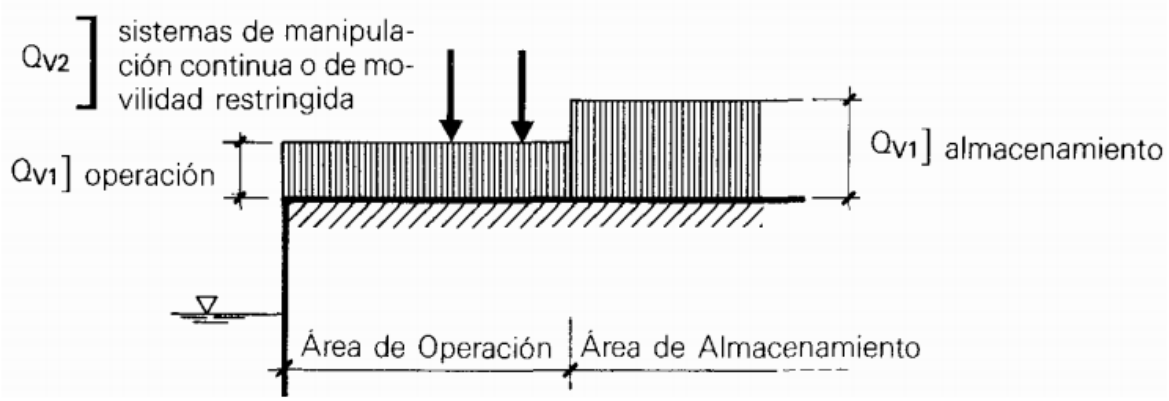
Notas:

a. Transporte de atraque.
b. Portaeronaves.
c. Buque de desembarco.
d. Fragata lanzamisiles.
e. Destructor.
f. Fragata rápida.
g. Submarino.
h. Corbeta
i. Dragaminas:
j. Patrulleros.

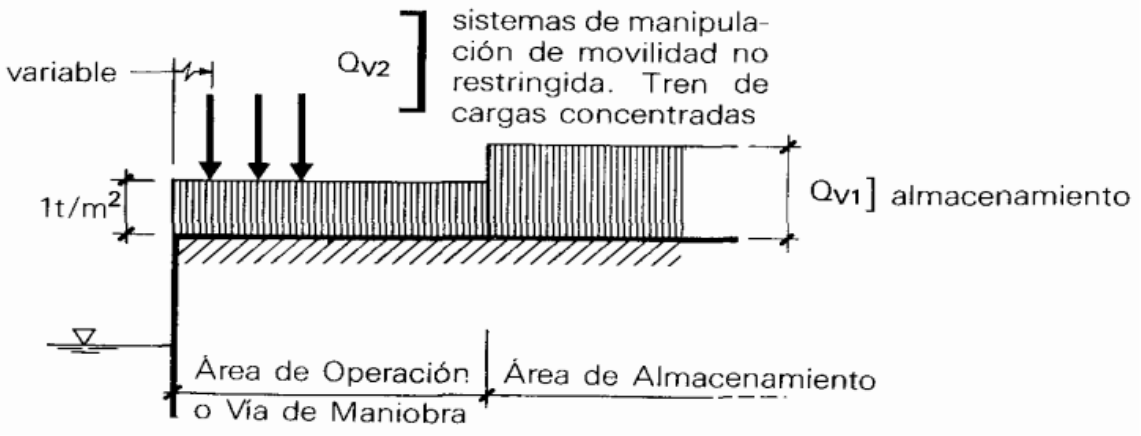
1. Las dimensiones usuales de los buques dadas en las tablas podrán variar dependiendo del país de origen y del astillero. Dichas dimensiones variaran a lo sumo en ± 10%como caso extremo.
2. Podrá aproximarse la eslora entre perpendiculares al 95% de la eslora total.
3. A falta de otros datos el desplazamiento de un buque podrá calcularse como el producto de la eslora entre perpendiculares, la manga, el calado máximo, peso específico del agua y el coeficiente de bloque. Dicho coeficiente variará de 0.8 a 0.6 para mercantes de carga general y granulares; 0.85 para petroleros; de 0.55 a 0.65 para buques ro-ro y transbordadores; de 0.3 a 0.5 para buques de guerra; y de 0.3 a 0.4 para pesqueros.

TABLA 3.4.2.3.2.4. *COMPATIBILIDAD DE SOBRECARGAS DE ESTACIONAMIENTO Y ALMACENAMIENTO (Qv1) Y SOBRECARGAS DE EQUIPOS E INSTALACIONES DE MANIPULACI N DE MERCANC˝AS (QV2).*

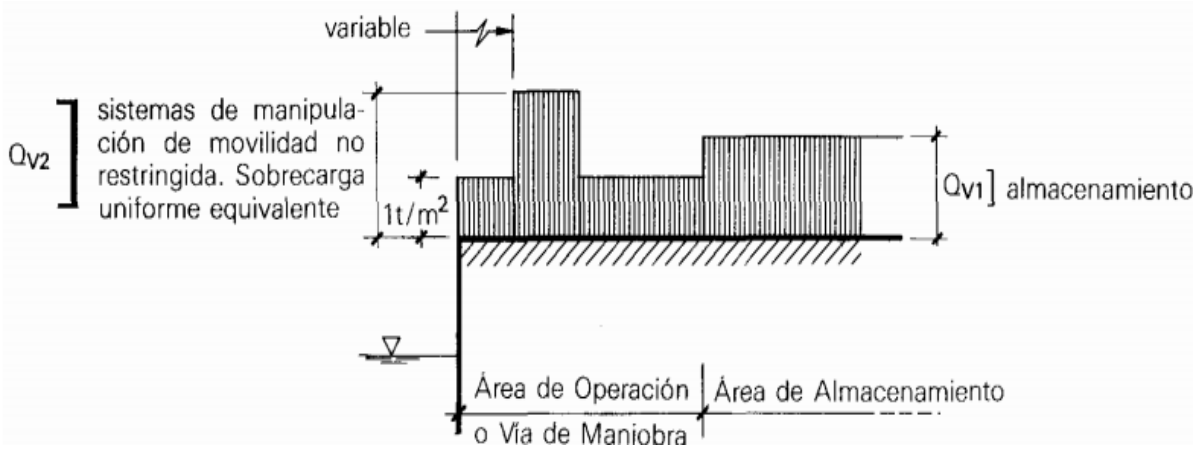
Caso 1



Caso 2


variable
Qv2
sistemas de manipulación de movilidad no restringida. Tren de cargas concentradas
1t/m2
Qv1] almacenamiento
Área de Operación o Vía de Maniobra
Área de Almacenamiento

Caso 3


variable
Qv2
sistemas de manipulación de movilidad no restringida. Sobrecarga uniforme equivalente
1t/m2
Qv1] almacenamiento
Área de Operación o Vía de Maniobra
Área de Almacenamiento