

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

Análisis estructural de la base de una grúa mediante método de elementos finitos en una embarcación costera de transporte

Para obtener el título profesional de Ingeniero Naval.

Elaborado por

Juan Américo Landa Castillo

 [0009-0003-7567-6283](https://orcid.org/0009-0003-7567-6283)

Asesor

DSc. Juan José Uchuya López

 [0000-0002-6810-1065](https://orcid.org/0000-0002-6810-1065)

LIMA – PERÚ

2024

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi familia, de quienes siempre cuento el apoyo y la confianza. Además, a mis amigos y colegas de Construcciones A. Maggiolo S.A., quienes fueron un pilar importante en mi desarrollo profesional.

Juan Américo Landa

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios, quien ha sido, es y será la guía y refugio en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi madre Mary Castillo, mi padre Juan Landa y hermanos que me brindan su amor y apoyo incondicional.

También, a mí maestro y asesor, el Dr. Juan José Uchuya López, por sus enseñanzas, apoyo y tiempo brindado en la elaboración de esta tesis.

Por último, quiero agradecer a mis amigos de la universidad y compañeros de trabajo de los cuales he aprendido y mejorado en el ámbito académico y profesional.

RESUMEN

Este estudio investiga el análisis estructural de la base de una grúa en una embarcación costera, utilizando el método de elementos finitos (FEM) para evaluar su seguridad operativa y soportar las cargas operativas máximas. El trabajo inicia con una revisión de antecedentes, marco teórico, y normativas relevantes, incluyendo la ISO 12217-1:2015 y los lineamientos y recomendaciones de DNVGL y ABS, como la "Guide for Certification of Lifting Appliances-2021". Se formulan problemas principales y secundarios, se definen objetivos y se establecen hipótesis relacionadas con la seguridad estructural y el diseño de la grúa. Se simulan diversas condiciones operativas, como la extensión del brazo de la grúa con y sin carga. Los resultados del análisis FEM muestran que los esfuerzos en la estructura permanecen por debajo de los valores admisibles, confirmando la robustez del diseño y su conformidad con las normativas DNVGL y ABS. Las conclusiones destacan que la estructura de la grúa cumple con los criterios de aceptación establecidos, garantizando su integridad y seguridad durante las operaciones. El análisis demuestra que el diseño es robusto y capaz de soportar las cargas operativas previstas sin comprometer la seguridad.

Palabras clave: Grúa, Análisis Estructural, Método de Elementos Finitos, Estabilidad, Seguridad Operativa.

ABSTRACT

This study investigates the structural analysis of a crane base on a coastal vessel, using the finite element method (FEM) to evaluate its operational safety and support maximum operational loads. The work begins with a review of the background, theoretical framework, and relevant regulations, including ISO 12217-1:2015 and the guidelines and recommendations of DNVGL and ABS, such as the "Guide for Certification of Lifting Appliances-2021". Primary and secondary problems are formulated, objectives are defined, and hypotheses related to structural safety and crane design are established. Various operating conditions are simulated, such as crane boom extension with and without load. The results of the FEM analysis show that the stresses in the structure remain below the admissible values, confirming the robustness of the design and its compliance with DNVGL and ABS regulations. The conclusions highlight that the crane structure meets the established acceptance criteria, guaranteeing its integrity and safety during operations. The analysis demonstrates that the design is robust and capable of supporting the expected operational loads without compromising safety.

Keywords: Crane, Structural Analysis, Finite Element Method, Stability, Operational Safety.

ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I Generalidades.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	2
1.2 Realidad problemática	15
1.3 Formulación del problema	17
1.3.1 Problema principal.....	17
1.3.2 Problemas secundarios	18
1.4 Justificación e importancia.....	18
1.5 Objetivos	20
1.5.1 Objetivo general	20
1.5.2 Objetivos específicos.....	20
1.6 Hipótesis.....	20
1.6.1 Hipótesis general.....	20
1.6.2 Hipótesis específicas.....	21
1.7 Variables y Operacionalización.....	21
1.8 Metodología de la investigación.....	22
1.8.1 Unidad de análisis	22
1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación	22
1.8.3 Diseño de la investigación	23
1.8.4 Fuentes de información	23
1.8.5 Población y muestra	24
1.8.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
1.8.7 Análisis y procesamiento de datos.....	26

CAPÍTULO II Marco teórico y conceptual.....	28
2.1 Marco teórico general	29
2.1.1 Embarcación costera de transporte de carga y gente de mar	29
2.1.2 Diseño estructural.....	31
2.1.3 Métodos de Análisis Estructural.....	32
2.1.4 Normativas y Estándares.....	32
2.1.5 Diseño Estructural de Grúas Marinas	33
2.1.6 Avances en tecnología y control	35
2.2 Marco conceptual	38
2.2.1 Discretización del Dominio.....	38
2.2.2 Enmallado (Meshing).....	38
2.2.3 Funciones de Forma.....	39
2.2.4 Condición de Contorno	39
2.2.5 Preprocesamiento	39
CAPÍTULO III Desarrollo del trabajo de investigación.....	40
3.1 Requerimientos y especificaciones.....	41
3.2 Diseño estructural.....	42
3.3 Condiciones operativas.....	43
3.4 Simulación numérica	44
3.5 Evaluación por método de elementos finitos de la estructura dimensionada.....	46
CAPÍTULO IV Resultados, contrastación de hipótesis y discusión de resultados	48
4.1 Resultados de los requerimientos y especificaciones	48
4.1.1 Descripción.....	48
4.1.2 Especificaciones técnicas de la grúa	50
4.1.3 Planos y documentos de referencia.....	52
4.2 Resultados de diseño estructural.....	60
4.2.1 Consideraciones de diseño.....	60
4.2.2 Análisis de cargas	61

4.2.3 Resultados de diseño	69
4.3 Resultados de condiciones operativas.....	69
4.3.1 Limitaciones operacionales.....	70
4.3.2 Condiciones operativas de la grúa.....	72
4.3.3 Estabilidad en diferentes condiciones operativas.....	73
4.3.4 Criterio de estabilidad para todas las condiciones operativas	78
4.3.5 Resultados	79
4.4 Resultados de la simulación numérica.....	80
4.4.1 Consideraciones generales	80
4.4.2 Modelado del diseño 3D	81
4.5 Resultados de la integridad estructural	82
4.5.1 Resultado de grúa operando hacia estribor	83
4.5.2 Resultado de grúa operando hacia popa	85
4.5.3 Conclusiones de la simulación.....	86
4.5.4 Criterios de aceptación	87
4.6 Contrastación de hipótesis.....	88
4.7 Aporte del trabajo tesis	89
4.8 Riesgos en la maniobra de grúa en la embarcación costera.....	90
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES.....	95
REFERENCIAS	96
ANEXOS.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquemática del mecanismo de grúa y las fuerzas	3
Figura 2	Condiciones de contorno y cargas aplicadas con la representación del mallado global.	5
Figura 3	Vista frontal de la grúa compuesta por las dimensiones esenciales	7
Figura 4	Los marcos de coordenadas de la cadena cinemática principal de la grúa con brazo articulado.....	9
Figura 5	Una grúa con brazo articulado de siete grados de libertad montada a bordo de un buque	10
Figura 6	Ilustración del sistema de grúa montada en buque en alta mar	12
Figura 7	Ilustración del marco de la grúa. (a) Vista superior del bastidor de la grúa C, (b) vista lateral del bastidor de la grúa C	14
Figura 8	Vista tridimensional de modelo de embarcación costera analizado	30
Figura 9	Dimensiones de la grúa (obtenido de las especificaciones técnicas).....	50
Figura 10	Disposición del brazo extendido (obtenido de las especificaciones técnicas).....	52
Figura 11	Disposición general de embarcación costera de transporte de carga y gente de mar (vista de elevación)	53
Figura 12	Disposición general de embarcación costera de transporte de carga y gente de mar (vista de planta de cubierta principal)	53
Figura 13	Disposición general de embarcación costera de transporte de carga y gente de mar (vista bajo cubierta)	54
Figura 14	Plano de estructura general de cubierta principal (antes de instalar la grúa).....	58
Figura 15	Cuaderna 05 sin reforzamiento	59
Figura 16	Mamparo M06 sin reforzamiento	59

Figura 17	Ubicación de la grúa sobre la cubierta.....	60
Figura 18	Modelo isométrico de la base de la grúa instalada sobre la cubierta	62
Figura 19	Vista de planta de la base de la grúa instalado sobre cubierta principal	63
Figura 20	Vista longitudinal de la base de la grúa mostrando las dimensiones de las planchas instaladas para la base de la grúa.....	63
Figura 21	Vista de planta del injerto en cubierta principal.....	65
Figura 22	Sección B-B a 239mm a proa de cuaderna 05	65
Figura 23	Izquierda sección D-D e imagen de la derecha sección E-E	66
Figura 24	Izquierda vista de la sección A-A, derecha vista de la sección C-C de injerto de cubierta principal	67
Figura 25	Izquierda vista de la sección D-D, derecha vista de la sección E-E	68
Figura 26	Refuerzo bajo cubierta, muestra refuerzo, de mamparo, cuaderna modificada y puntal	68
Figura 27	Extensiones del brazo de la grúa	72
Figura 28	Vista transversal, muestra el desplazamiento del brazo	74
Figura 29	Curva de estabilidad corregida por el desplazamiento del centro de gravedad	76
Figura 30	Curva de estabilidad corregida por el desplazamiento del centro de gravedad para las diferentes condiciones del brazo con carga en su extremo	78
Figura 31	Base de grúa y reforzamiento bajo cubierta en 3D	81
Figura 32	Malla de la sección de análisis de la base de grúa y reforzamiento bajo cubierta	82
Figura 33	Grúa operada hacia estribor, distribución de esfuerzos de Von Mises – lado de popa	84
Figura 34	Grúa operada hacia estribor, distribución de esfuerzos de Von Mises – lado de proa.....	84

Figura 35	Grúa operada hacia popa, distribución de esfuerzos de Von Mises – lado de popa.....	85
Figura 36	Grúa operada hacia popa, distribución de esfuerzos de Von Mises – lado de proa.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Matriz de operacionalización de variables.....	21
Tabla 2	Metodología de análisis y procesamiento de datos.	27
Tabla 3	Características principales.	49
Tabla 4	Datos técnicos de la grúa.....	50
Tabla 5	Definiciones de parámetros para uso de norma DNVGL.....	56
Tabla 6	Cálculo de los espesores de plancha del casco según la regla DNVGL.....	56
Tabla 7	Cálculo de los espesores de plancha del casco según la regla ABS.....	56
Tabla 8	Cálculo de los espesores de plancha del casco según la regla ISO12215-5...	57
Tabla 9	Ampliación de especificaciones técnicas de la grúa.....	64
Tabla 10	Momento total de inercia de la base cuadrada de la grúa.	64
Tabla 11	Especificaciones técnicas de injerto.....	66
Tabla 12	Momento total de inercia de la base cuadrada de la grúa.	66
Tabla 13	Especificaciones técnicas de refuerzos bajo cubierta.	69
Tabla 14	Variación de centro de gravedad de la grúa.....	73
Tabla 15	Coordenadas de centro de gravedad de la embarcación costera.....	75
Tabla 16	Variación de centro de gravedad de la grúa respecto expansión de brazo.	75
Tabla 17	Coordenadas de centro de gravedad de la embarcación costera con expansión de brazo.....	77
Tabla 18	Variación de centro de gravedad de la grúa respecto carga máxima.	77
Tabla 19	Condiciones de estabilidad de la embarcación costera con expansión de brazo.....	78
Tabla 20	Criterios de estabilidad de categoría C por norma ISO 12217-1:2015.....	79
Tabla 21	Condiciones de estabilidad para el brazo extendido sin carga en el extremo..	79
Tabla 22	Condiciones de estabilidad para el brazo extendido con carga en el extremo.	80

INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo es una pieza fundamental en la logística y transporte de carga y gente de mar. En este contexto, la presente investigación se enfoca en el análisis estructural de la base de una grúa instalada en una embarcación costera, considerando su instalación en el estribor de la cubierta. El objetivo principal es evaluar la capacidad de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta mediante el método de elementos finitos (FEM), siguiendo las directrices y recomendaciones de sociedades de clasificación como Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd (DNVGL), American Bureau of Shipping (ABS), y las normas internacionales ISO 12215-5 “Small craft – Hull construction and scantlings” e ISO 12217-1 “Small craft – Stability and buoyancy assessment and categorization”. Este enfoque permite asegurar que la embarcación costera mantenga las condiciones de estabilidad adecuadas, garantizando que el diseño de la base de la grúa cumpla con los requisitos de seguridad y eficiencia operativa.

En el desarrollo de este trabajo, la presente tesis se divide en los siguientes capítulos:

Capítulo I: Generalidades: Este capítulo proporciona un marco contextual y conceptual para la investigación. Se exploran los antecedentes investigativos relacionados con el análisis estructural de grúas marinas y se identifica la problemática específica del estudio. Se formulan el problema principal y los secundarios, y se justifican la importancia y objetivos de la investigación. Además, se detallan la hipótesis general y específicas, las variables del estudio y la metodología empleada para abordar la investigación.

Capítulo II: Marco teórico y conceptual: En este capítulo se presenta el marco teórico y conceptual necesario para entender el análisis estructural de la grúa. Se revisan los principios fundamentales del diseño estructural en embarcaciones costeras, las metodologías de análisis estructural, y las normativas relevantes, como la ISO 12217-1:2015. También se abordan conceptos técnicos clave, como la discretización del dominio, el enmallado (meshing) y las condiciones de contorno, fundamentales para la aplicación del FEM.

Capítulo III: Desarrollo del trabajo de investigación: Este capítulo describe en detalle el desarrollo de la investigación. Se abordan los requisitos y especificaciones para el análisis estructural, el diseño estructural de la grúa y el refuerzo bajo cubierta. Se presentan las condiciones operativas consideradas y se detalla el proceso de simulación numérica. La sección también incluye una evaluación utilizando el método de elementos finitos para validar la capacidad estructural del diseño propuesto.

Capítulo IV: Resultados, contrastación de hipótesis y discusión de resultados: Aquí se presentan los resultados obtenidos del análisis estructural y de la simulación numérica. Se examinan los resultados de las pruebas realizadas bajo diferentes condiciones operativas y se contrastan con las hipótesis establecidas. Se discute la validez de los resultados en relación con los criterios de aceptación normativos y se proporcionan conclusiones sobre la eficacia del diseño estructural en términos de seguridad y rendimiento.

Finalmente, se presentan las conclusiones donde se ratifica el cumplimiento de los objetivos planteados y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

Generalidades

El transporte costero desafía constantemente las capacidades logísticas al requerir operaciones eficientes de estiba y desestiba de carga en embarcaciones. En este contexto, el presente estudio se sumerge en el desafiante escenario de instalar una grúa M 65.20A de 1.07 tn de la marca Guerra Marine en la cubierta estribor de una embarcación costera dedicada al transporte de carga y gente de mar. La complejidad de esta actividad exige un análisis estructural de la base de la grúa y el correspondiente reforzamiento bajo cubierta.

La incorporación de una grúa a una embarcación costera va más allá de la simple adición de equipo; implica un compromiso con la seguridad operacional y la conformidad con normativas establecidas por sociedades clasificadoras de renombre, como la Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd (DNVGL), American Bureau of Shipping (ABS), ISO 12215-5 e ISO 12217-1.

El método de análisis elegido para abordar esta complejidad es el uso de la técnica de elementos finitos (FEM), un enfoque computacional que permite modelar y simular el comportamiento estructural de la base de la grúa y su reforzamiento bajo cubierta. Este método, respaldado por los principios de la mecánica estructural, se erige como una herramienta invaluable para evaluar las condiciones de carga extremas que podrían enfrentar tanto la grúa como la embarcación costera durante su operación.

El transporte costero, por su propia naturaleza, se desenvuelve en un medio marino impredecible, sometido a fuerzas cambiantes, vibraciones y movimientos constantes. Por

consiguiente, el análisis de la grúa está diseñado para operar en condiciones de puerto o aguas protegidas donde no exista movimiento significativo del barco debido a la acción de las olas o una altura significativa de ola menor a 0.6 m.

La normativa proporciona un marco de referencia técnico que asegura la integridad estructural de la base de la grúa y su compatibilidad con las condiciones marinas extremas. Además, establece criterios específicos para el dimensionamiento en el diseño y reforzamiento bajo cubierta, considerando aspectos como la resistencia a la fatiga y la capacidad de carga o esfuerzo. La aplicación de estas normas se presenta como un elemento para prevenir accidentes y garantizar la seguridad tanto de la carga como de la embarcación y su gente de mar.

La seguridad operacional de la grúa en el entorno costero se convierte así en un objetivo prioritario. La necesidad de evitar accidentes potencialmente catastróficos impulsa la realización de un análisis FEM estructural bajo ciertas consideraciones preliminares como la de operar la grúa en el muelle y acoderado a un embarcación en condiciones de mar tranquilo. Este enfoque no solo evalúa la capacidad de la base de la grúa para resistir cargas máximas de operación, sino también incluye el momento de elevación dinámico total y el peso de la grúa con la carga máxima, con el propósito de evaluar la interacción entre la grúa y la embarcación costera.

1.1 Antecedentes investigativos

Los antecedentes referenciales relacionados con el análisis de la estructura de grúas con sus bases implementadas en embarcación costeras de transporte de carga y gente de mar es un campo esencial en la industria marítima. La eficiencia y la seguridad en el transporte marítimo de cargas y gente de mar dependen en gran medida de la estabilidad y el diseño estructural de estas embarcaciones.

En anteriores investigaciones y desarrollos relacionados con este tema, se ha abordado la importancia del análisis estructural de la base de las grúas y el reforzamiento

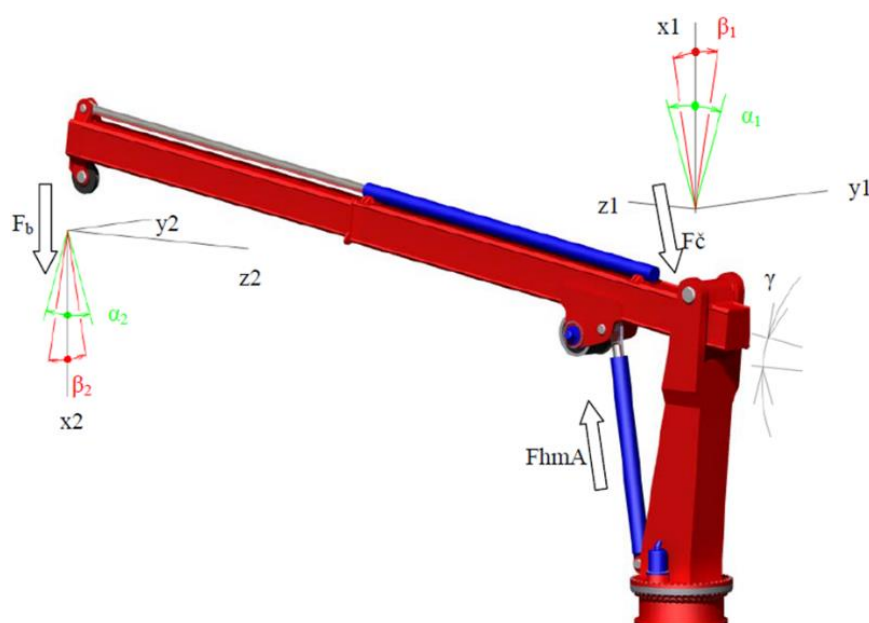
bajo cubierta para cumplir con las exigencias cambiantes de carga y condiciones operativas, entre otras similares. Estos estudios han explorado la necesidad de mejorar la capacidad de carga, la eficiencia de la grúa y la estabilidad de la embarcación en diferentes escenarios marítimos.

Los avances en tecnología y diseño han llevado a investigaciones sobre la influencia directa de las modificaciones estructurales en la estabilidad general de las embarcaciones costeras de transporte. Además, se ha dado énfasis a la implementación de normativas y estándares internacionales, como los establecidos por la Organización Marítima Internacional (OMI), las sociedades clasificadores, para garantizar la seguridad y la conformidad con los requisitos legales en estas embarcaciones.

(Dlužanský, 2019), en su tesis, se centra sobre el análisis y diseño de una grúa para implementación en la cubierta de una embarcación, ver figura 1, y ofrece una contribución sustancial al campo del análisis estructural de grúas sobre bases modificadas en embarcación costeras de transporte de carga y gente de mar.

Figura 1

Esquemática del mecanismo de grúa y las fuerzas



Nota: fuente Dlužanský, T. (2019)

El enfoque en el diseño y la solución cinemática de la grúa proporciona una comprensión profunda de los desafíos involucrados en la integración de una grúa con brazo telescópico y articulación única en una embarcación. La revisión concisa de diseños de grúas aplicables a buques establece una base sólida para el estudio, mientras que el énfasis en el control de tensiones según estándares reconocidos, como los de Lloyd's Register of Shipping y Huisman para dispositivos de elevación marítimos, garantiza la seguridad estructural bajo condiciones operativas exigentes.

La meticulosa selección de componentes y la iteración en el proceso de diseño, considerando múltiples disposiciones estructurales y variantes cinemáticas, destacan la importancia de encontrar un equilibrio entre la complejidad estructural y la funcionalidad operativa. El enfoque en reducir el peso de la grúa mediante ajustes sucesivos de los modelos, influyendo positivamente en el costo de producción, subraya la eficiencia del diseño sin comprometer la capacidad de carga requerida.

La validación del diseño a través del análisis FEM para controlar tensiones y ajustar la estructura de acero es un paso para garantizar el cumplimiento de estándares y condiciones de carga específicos. La capacidad de la grúa para superar las cargas requeridas demuestra su robustez y confiabilidad en condiciones de operación más exigentes, lo que refuerza su eficacia y seguridad en aplicaciones prácticas.

Sin embargo, el estudio también destaca la necesidad de considerar el impacto en la estabilidad general de la embarcación costera debido a la instalación de la grúa. La sugerencia de evaluar el centro de gravedad alterado y su influencia en la estabilidad estática y dinámica de la embarcación durante las operaciones de carga y descarga es fundamental para garantizar la seguridad global de la configuración.

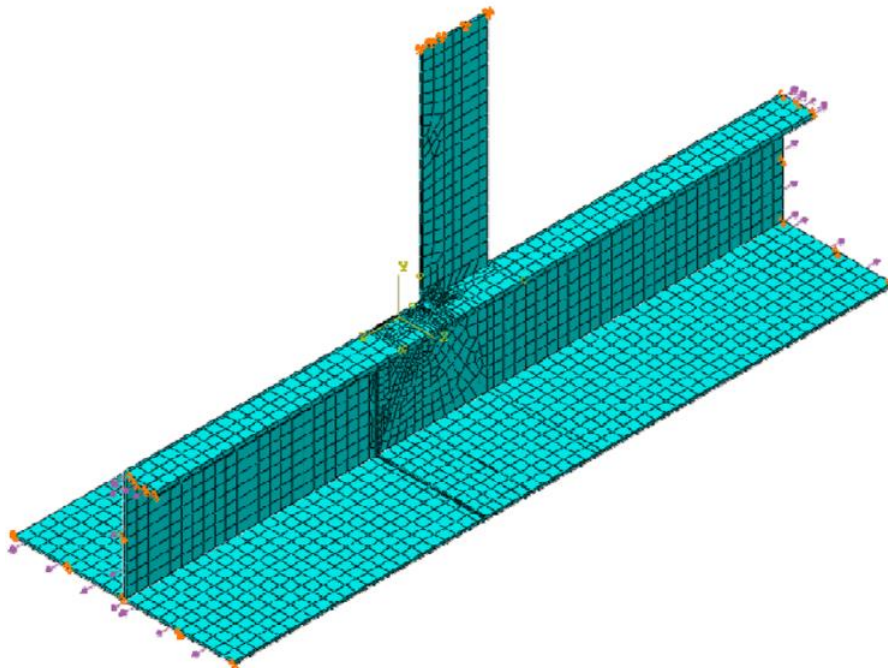
En resumen, la investigación de Dlužanský proporciona una valiosa perspectiva sobre el diseño estructural y la eficiencia de una grúa en una embarcación costera de transporte de carga y gente de mar. Su enfoque en el diseño, la validación técnica y la consideración de la seguridad operativa y la estabilidad general de la embarcación ofrecen

contribuciones significativas al campo del análisis estructural en entornos costeros desafiantes

(Ye, 2015), en su tesis, ofrece un aporte significativo al campo del análisis estructural en buques, centrándose en la integridad estructural y la resistencia a la fatiga. Su enfoque en los estados límite últimos (ULS) y de fatiga (FLS) proporciona una comprensión de los desafíos críticos en la evaluación y mantenimiento de la seguridad estructural de las embarcaciones. El análisis ULS se destaca por su enfoque iterativo incremental para estimar la resistencia última de la viga del casco del buque. La comparación entre el método de elementos finitos (FEM) y las Reglas Comunes de Estructura (CSR) en el análisis de pandeo de una placa de cubierta, ver figura 2, demuestra la importancia de evaluar la precisión y confiabilidad de diferentes enfoques. Esta comparación ofrece información valiosa sobre la idoneidad de las técnicas analíticas utilizadas en el análisis de pandeo, para garantizar la seguridad estructural bajo cargas extremas.

Figura 2

Condiciones de contorno y cargas aplicadas con la representación del mallado global.



Nota: fuente Ye, Q. (2015)

El estudio FLS, específicamente sobre el impacto de las grietas por fatiga en la seguridad estructural de los buques, es fundamental. La investigación sobre la velocidad de propagación de las grietas en diversas condiciones operativas y climáticas proporciona información para comprender la durabilidad y la capacidad de servicio de las estructuras marinas. La comparación de métodos de simulación de grietas, como el método XFEM (Extended Finite Element Method), destaca su precisión en la predicción de la propagación de grietas, ofreciendo una herramienta valiosa para la predicción rápida y precisa de esta fenomenología para la seguridad de la embarcación.

La investigación también profundiza en el análisis de fracturas por fatiga, explorando la diferencia en la modelación de la propagación de grietas utilizando varios software comerciales y su impacto en la vida útil de la estructura. La consideración de factores como la presencia de placas adicionales y la complejidad tridimensional de la estructura subraya la necesidad de evaluar múltiples condiciones estructurales para comprender mejor la resistencia a la fatiga de las embarcaciones.

Las conclusiones resaltan la importancia de parámetros críticos en el análisis estructural marino, como la fuerza total sobre la sección transversal y el ajuste del eje neutro, que afectan la precisión de los cálculos y el tiempo involucrado. Estos hallazgos son fundamentales para mejorar los métodos de predicción de resistencia y vida útil de las estructuras marinas, contribuyendo significativamente al diseño y mantenimiento de buques más seguros y duraderos.

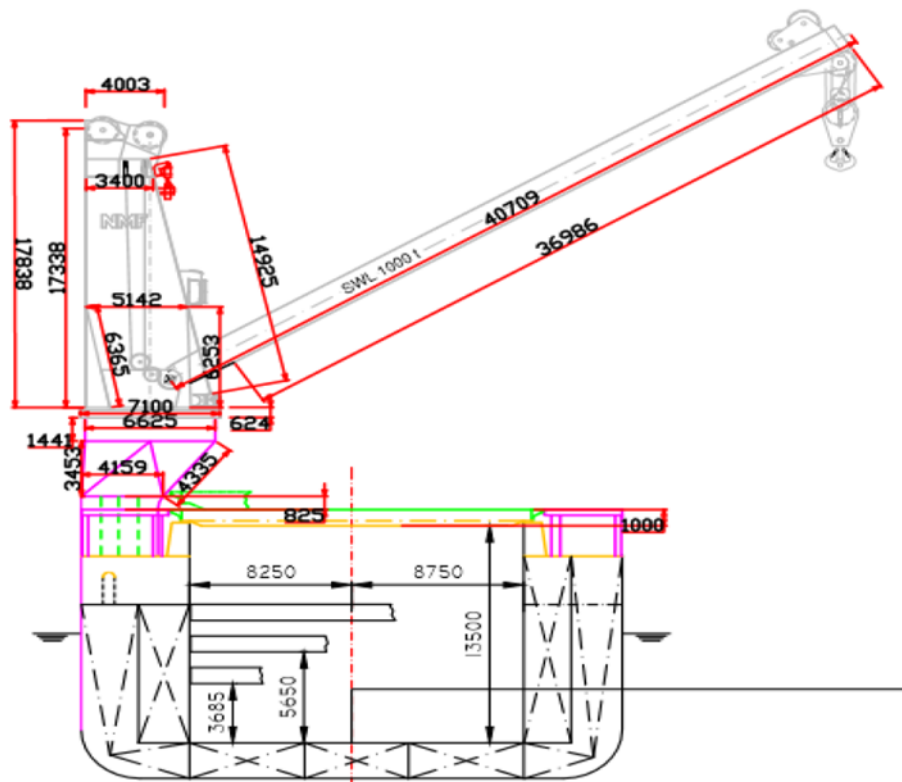
En resumen, la investigación de Ye, Q. (2015) proporciona una contribución valiosa al campo del análisis estructural de buques, al destacar la importancia de evaluar la resistencia última, la propagación de grietas por fatiga y los aspectos en la modelación de fracturas. Sus hallazgos y recomendaciones ofrecen una base sólida para mejorar la integridad estructural y la seguridad de las embarcaciones marinas.

(Sood, 2017), en su tesis de maestría, se centra en la problemática de las operaciones de carga y descarga de buques especiales con grúas (ver figura 3) de apoyo

a construcciones o abastecimiento de carga pesada en alta mar, que son considerablemente más complejas que las operaciones en tierra. Para abordar esta problemática, Sood utiliza una metodología que incluye la revisión de los criterios de elevación para grúas a bordo proporcionados por la sociedad de clasificación DNV-GL, la evaluación de la carga durante las operaciones y el análisis de las tensiones mediante modelado de elementos finitos para el análisis de fatiga. Además, realiza un estudio comparativo entre las reglas de operación de Lloyds Register y DNV-GL para identificar las mejores prácticas.

Figura 3

Vista frontal de la grúa compuesta por las dimensiones esenciales



Nota: fuente Sood (2017)

Los resultados destacan que el caso de carga con el alcance máximo del brazo es limitante para la operación de la grúa, y se observan deflexiones máximas en la carcasa y fuerzas horizontales máximas en los cojinetes. Sood también identifica que el daño por fatiga máximo ocurre en la punta del brazo después de 25 años de vida útil, y recomienda

cambios en el diseño, como la forma del revestimiento inferior de la carcasa, para reducir los puntos de concentración de estrés.

Se sugiere minimizar las áreas de las ventanas en la carcasa para mejorar la resistencia estructural, y se destaca la importancia de inspecciones frecuentes para identificar y abordar áreas críticas de posible falla. A pesar de las diferencias en las reglas de clasificación entre Lloyds Register y DNV-GL, Sood concluye que ambos conjuntos de reglas resultan en un impacto similar en la seguridad y el rendimiento de las grúas. En última instancia, el trabajo de Sood propone procedimientos de optimización para mejorar la vida estructural y de fatiga de las grúas en futuros modelos, con el objetivo de garantizar una operación segura y eficiente a largo plazo en la industria naviera.

(Martin & Irani, 2021a), en su artículo, aborda una preocupación fundamental en el ámbito de las grúas a bordo: la oscilación de la carga útil. Presenta una estrategia innovadora de modificación de trayectoria aplicable a diferentes tipos de grúas, con el objetivo de mantener la carga útil en una posición relativa estable con respecto a la cubierta del buque, contrarrestando los movimientos del buque en sus seis grados de libertad.

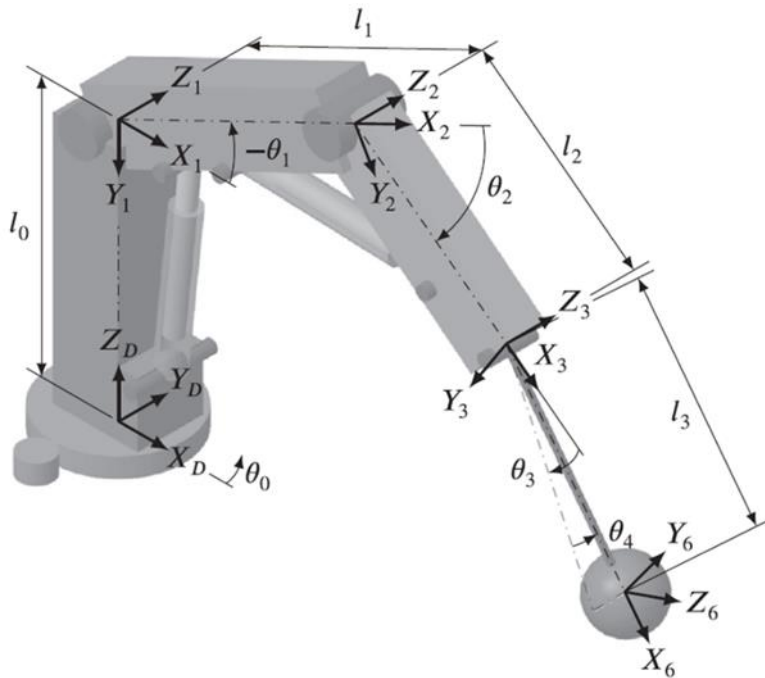
Esta estrategia inicialmente se probó en una grúa pórtico con cinco grados de libertad, mostrando en simulaciones la capacidad tanto de un controlador proporcional-integral-derivado (PID) como de un controlador de modo deslizante (SMC) para rastrear la trayectoria modificada, ver figura 4. Los resultados revelaron una reducción significativa en el error cuadrático medio (RMSE) entre las posiciones deseadas y reales de la carga útil: el PID logró una reducción del 64 % y el SMC del 74 %. A pesar de que el buque se modeló con seis grados de libertad, el sistema de control anti-oscilación solo requiere medir los ángulos de balanceo y cabeceo del buque, simplificando la implementación.

Sin embargo, al aplicar esta estrategia a una grúa con brazo articulado y seis grados de libertad, los resultados variaron. El controlador PID solo logró una reducción del 38% en RMSE y tuvo dificultades para seguir con precisión la trayectoria debido a la complejidad dinámica no lineal de la grúa. Por otro lado, el controlador SMC mostró una

reducción del 82 % en RMSE y parecía capaz de mantener la posición deseada de la carga útil de manera más efectiva con la trayectoria modificada.

Figura 4

Los marcos de coordenadas de la cadena cinemática principal de la grúa con brazo articulado



Nota: fuente Martin, I. A., & Irani, R. A. (2021a)

Para mejorar el modelo dinámico de la grúa con brazo articulado, se aplicaron funciones de transferencia de primer orden a cada actuador y se desarrolló un controlador de modo deslizante avanzado. Este nuevo controlador logró una reducción del 84 % en RMSE con la incorporación del modificador de trayectoria, mostrando un control más estable del sistema.

En resumen, el artículo destaca que la modificación de la trayectoria es una estrategia efectiva para reducir la oscilación de la carga útil en las grúas a bordo. Sin embargo, subraya la importancia crítica de desarrollar un controlador adecuado para permitir que la grúa siga con precisión la trayectoria modificada. Mientras que para la grúa pórtico tanto el PID como el SMC lograron seguir la trayectoria, en el caso de la grúa con brazo articulado, solo el SMC demostró un seguimiento exitoso. Este estudio resalta la

relevancia de adaptar el controlador según la complejidad dinámica de cada tipo de grúa para lograr un control óptimo y mitigar la oscilación de la carga útil de manera efectiva.

(Martin & Irani, 2021b), en su artículo, se centra en la investigación sobre el control anti-oscilación para grúas a bordo con un alto grado de libertad (DOF), ver figura 5. Aborda la falta de investigación en este campo al desarrollar un modelo dinámico y un sistema de control anti-oscilación para una grúa con pluma articulada con siete DOF, instalada en un buque que experimenta seis grados de movimiento.

El modelo dinámico creado es notable por su precisión y detalle. Considera aspectos usualmente omitidos en la literatura, como la masa e inercia de actuadores hidráulicos, poleas, cabrestantes y la dinámica interna del actuador, así como un ángulo realista de caída del cable. Se utilizan dos enfoques para derivar la cinemática de la grúa: la transformación matricial estándar y los cuaterniones duales, mientras que las ecuaciones de movimiento se obtienen mediante el método de Lagrange.

Figura 5

Una grúa con brazo articulado de siete grados de libertad montada a bordo de un buque



Nota: fuente Martin, I. A., & Irani, R. A. (2021b)

El sistema de control anti-oscilación propuesto integra un modificador de trayectoria autoajutable con un controlador de modo deslizante no lineal y un optimizador de trayectoria no lineal. En simulaciones realizadas en un buque con seis grados de libertad de movimiento, el sistema muestra resultados impresionantes. Aun sin el autoajuste, logra

una reducción del 64 % en el error cuadrático medio (RMSE) entre las posiciones deseadas y reales de la carga útil. Con el autoajuste habilitado, se consigue una disminución aún mayor del 74 % en el RMSE. Además, frente a una fuerza perturbadora de 5 kN aplicada a la carga útil, el sistema demuestra su efectividad al reducir el RMSE promedio en un 58 % sin autoajuste y en un 77 % con autoajuste.

El sistema muestra una notable robustez en las simulaciones con variaciones de hasta un ± 20 % en los parámetros de la grúa simulada. Estas pruebas revelan una resistencia significativa a los errores, con un aumento máximo del RMSE promedio de solo el 6,3 % con el autoajuste habilitado.

En resumen, los resultados del artículo resaltan la alta efectividad del sistema de control anti-oscilación para la grúa con pluma articulada en la reducción del movimiento no deseado de la carga útil a lo largo de trayectorias variables en el tiempo. Además, se destaca su robustez frente a cambios inesperados, perturbaciones y variaciones en los parámetros del sistema. El estudio propone, como continuación, validar estas metodologías mediante experimentos de hardware para consolidar su eficacia en un entorno físico real. Esto indica un emocionante potencial para la implementación práctica de este sistema en el control efectivo de la oscilación de la carga útil en grúas a bordo.

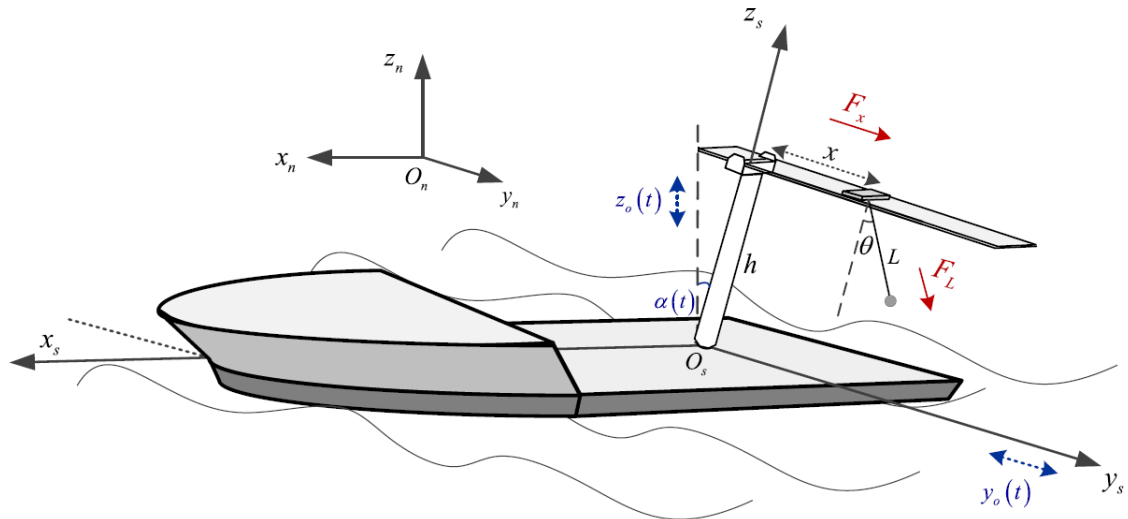
(Qian, Fang & Lu, 2019), en su artículo, realiza un aporte significativo al campo del control de grúas montadas en buques en alta mar, ver figura 6, un entorno donde las perturbaciones marítimas tienen un impacto considerable en la precisión del posicionamiento vertical y la estabilidad de la carga útil. Estos autores abordan este desafío presentando un enfoque novedoso y efectivo: un controlador robusto adaptativo diseñado específicamente para sistemas no lineales subactuados expuestos a perturbaciones oceánicas.

El estudio se enfoca en la resolución de problemas críticos relacionados con el movimiento y la estabilidad de las grúas marinas en alta mar, reconociendo la complejidad de las perturbaciones como olas y corrientes, junto con la incertidumbre en los parámetros

del sistema. A través del desarrollo de un controlador adaptable, los autores buscan mitigar las oscilaciones de carga y contrarrestar las perturbaciones marítimas, asegurando la estabilidad y precisión del sistema de grúa.

Figura 6

Ilustración del sistema de grúa montada en buque en alta mar



Nota: fuente Qian, Y., Fang, Y., & Lu, B. (2019)

La novedad principal del enfoque presentado radica en su capacidad para lidiar con un sistema no lineal subactuado y su adaptabilidad frente a condiciones cambiantes y parámetros desconocidos. Sin recurrir a aproximaciones simplificadas del modelo original, el estudio demuestra de manera rigurosa la estabilidad del sistema de grúa utilizando técnicas de Lyapunov. Además, se respalda la efectividad del controlador propuesto mediante la realización de simulaciones y experimentos, lo que proporciona evidencia convincente de su rendimiento superior.

El artículo no solo se limita a proponer una solución, sino que también profundiza en la comprensión del comportamiento dinámico de las grúas marinas en presencia de perturbaciones oceánicas. Se desarrolla un modelo que describe cómo estas perturbaciones afectan el movimiento del buque y, por ende, la carga útil. Esto amplía el conocimiento existente sobre el funcionamiento de las grúas en entornos costeros desafiantes.

Las conclusiones del estudio destacan la eficacia del controlador adaptable propuesto, que logra mantener la estabilidad del sistema de grúa incluso en presencia de perturbaciones desconocidas y parámetros inciertos. Además, resalta la estabilidad asintótica asegurada por las técnicas de Lyapunov, lo que añade un nivel de confianza al sistema diseñado. El artículo no solo identifica áreas de mejora, sino que también establece una base sólida para investigaciones futuras, sugiriendo la expansión del enfoque a sistemas más generalizados y multidimensionales de grúas marinas, como grúas móviles y sistemas más complejos a bordo de buques.

En resumen, el estudio ofrece un enfoque innovador y efectivo para el control de grúas marinas en entornos costeros desafiantes. Este enfoque, respaldado por análisis rigurosos y resultados experimentales sólidos, proporciona una solución robusta y adaptable para mitigar las oscilaciones de carga y superar perturbaciones desconocidas, estableciendo un punto de partida importante para investigaciones futuras en este campo específico.

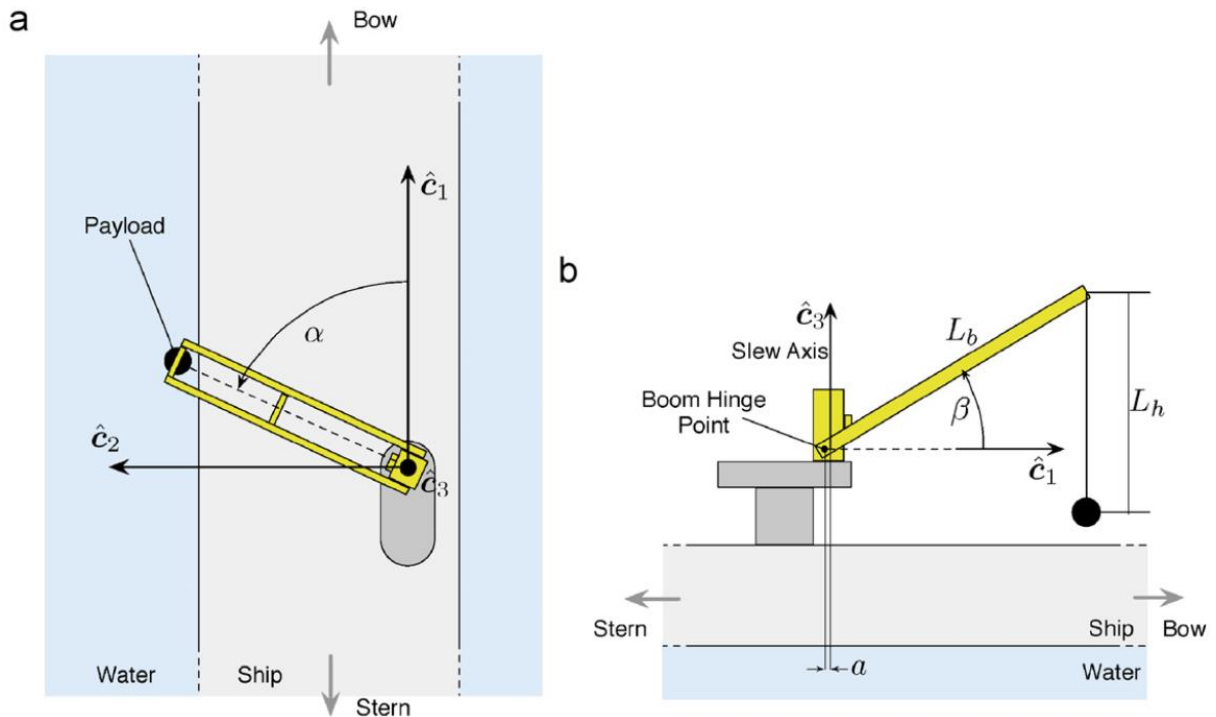
(Schaub, 2008), en su artículo, aborda estrategias activas para estabilizar la carga durante las transferencias en el mar utilizando grúas en buques, ver figura 7, un desafío significativo en entornos costeros. La estrategia se centra en el desarrollo de un sistema de detección de movimiento de buques utilizando unidades de medida inerciales (IMU) y su integración en una estrategia de control basada en tasas para aislar la carga útil del movimiento del buque, con el objetivo de mejorar la estabilidad y precisión de las operaciones de carga y descarga.

El enfoque propuesto por Schaub aborda un problema: cómo minimizar el impacto de las olas y el movimiento del buque en la carga transferida utilizando grúas. El autor desarrolla una estrategia que integra la información de las IMU para reducir costos y complejidad de los sensores y mejorar el rendimiento de la grúa. Esta estrategia de control basada en tasas permite calcular directamente las tasas necesarias de las juntas de la

grúa para contrarrestar el movimiento del buque, permitiendo aislar efectivamente la carga útil del movimiento del buque y manteniendo su estabilidad durante las transferencias.

Figura 7

Ilustración del marco de la grúa. (a) Vista superior del bastidor de la grúa C, (b) vista lateral del bastidor de la grúa C



Nota: fuente Schaub, H. (2008)

El estudio evalúa el rendimiento de esta estrategia a través de simulaciones numéricas, comparando su eficacia con una estrategia existente de detección de movimiento de buque. Además, se considera la implementación del sistema de control de pendulación (PCS) desarrollado por Sandia National Laboratories en el buque T-ACS 5, que ofrece amortiguación activa de la carga útil al compensar el movimiento del buque. Se explora la posibilidad de sustituir el sensor de movimiento del buque actual por una IMU más económica, que proporciona información precisa sobre la posición y actitud inercial del buque.

Las simulaciones numéricas muestran el rendimiento superior de las nuevas implementaciones del PCS en comparación con el sensor de movimiento del buque existente. Esto demuestra que el uso de la IMU mejora el control del balanceo de la carga

en comparación con la instalación actual. Se consideran posibles errores en los sensores IMU mediante la modelización de sus especificaciones de fabricante, lo que permite a los investigadores evaluar la capacidad del sistema para compensar estos errores y guiar el movimiento inercial deseado de la carga útil.

El estudio resalta la viabilidad de utilizar una IMU más económica en lugar del sensor de movimiento del buque actual, lo que mejoraría significativamente el control del balanceo de la carga durante las transferencias. Además, enfatiza la flexibilidad del sistema para compensar posibles errores en la colocación de la carga estacionaria, ya que el operador guía el movimiento inercial deseado de la carga útil, lo que añade un nivel de control más preciso y adaptativo en las operaciones de carga y descarga.

La implementación y pruebas en el buque grúa T-ACS 5 subrayan la aplicabilidad práctica de esta estrategia. Este estudio no solo ofrece una solución prometedora para mejorar la estabilidad de la carga durante las transferencias en el mar, sino que también destaca la posibilidad de integrar sistemas más económicos y flexibles para lograr un control más efectivo y adaptable en entornos costeros desafiantes.

1.2 Realidad problemática

En el ámbito de la ingeniería estructural aplicada a la industria marítima, la seguridad operacional de las grúas en embarcaciones costeras representa un desafío significativo. La base de una grúa, situada sobre la cubierta y el refuerzo subyacente, deben soportar cargas dinámicas y estáticas que son críticas para la integridad operativa del sistema. La relevancia del análisis estructural en este contexto no se subestima, ya que cualquier deficiencia en el diseño o en la ejecución del análisis tiene consecuencias graves para la seguridad de la carga y la del personal a bordo.

El problema fundamental radica en que las grúas instaladas en embarcaciones costeras deben enfrentarse a un entorno extremadamente exigente. Estos equipos están expuestos a cargas variables, incluyendo las fuerzas del viento, el movimiento del mar y

las cargas dinámicas durante el izaje y transporte de carga. Las cargas operativas están sometidas a fluctuaciones significativas, que generan esfuerzos y deformaciones en la base de la grúa y en el sistema de refuerzo bajo cubierta. La adecuada comprensión y modelado de estas cargas es esencial para asegurar que la estructura resista estas condiciones sin comprometer la seguridad.

En este contexto, el método de elementos finitos (FEM) se presenta como una herramienta fundamental para el análisis estructural. Sin embargo, su aplicación efectiva está condicionada por la precisión en la definición de los requisitos técnicos y especificaciones. La falta de precisión en esta fase inicial lleva a errores en el diseño y análisis estructural, incrementando el riesgo de falla estructural. Específicamente, los requisitos técnicos deben abordar todos los aspectos del entorno operativo y las características específicas del diseño de la grúa, incluyendo las especificaciones de los materiales, las cargas máximas esperadas y los factores de seguridad necesarios.

La ausencia de un diseño estructural riguroso y un análisis de cargas preciso resulta en una serie de problemas significativos. Por ejemplo, una evaluación inadecuada de las cargas dinámicas y estáticas lleva a una insuficiente capacidad de carga en la base de la grúa. Esto resulta en deformaciones excesivas, agrietamiento de los materiales o, en casos extremos, en la falla completa de la estructura. Estas deficiencias no solo comprometen la seguridad de la carga, sino que también ponen en riesgo la seguridad del personal a bordo. Las consecuencias incluyen accidentes que podrían llevar a pérdidas materiales y humanas, con el impacto asociado en la operación marítima y en la reputación de las empresas involucradas.

Además, la simulación numérica mediante FEM, si no se realiza de manera adecuada, ofrece una representación inexacta de la integridad estructural. El éxito de esta simulación depende de la correcta parametrización de los modelos, la selección adecuada de los materiales y la implementación precisa de las condiciones de contorno. La falta de fidelidad en estos aspectos da lugar a resultados incorrectos, que no reflejan fielmente las

condiciones reales de operación. Esto se traduce en una falsa sensación de seguridad y en la subestimación de las verdaderas cargas y tensiones que la estructura debe soportar.

En términos de indicadores medibles, los factores de seguridad y los criterios de aceptación establecidos por las sociedades clasificadoras deben ser meticulosamente evaluados y garantizados mediante un análisis estructural profundo. Los errores en el cumplimiento de estos criterios resultan en una calificación inadecuada de la estructura, exponiendo a la embarcación y a su carga a riesgos innecesarios. La evaluación de los factores de seguridad, las cargas máximas esperadas y la integridad estructural deben estar basadas en datos precisos y actualizados, y en una comprensión profunda de las condiciones operativas.

En conclusión, el problema de garantizar la seguridad operacional de las grúas en embarcaciones costeras está intrínsecamente ligado a la precisión en el análisis estructural. La correcta definición de requisitos técnicos, el diseño estructural riguroso y la simulación precisa mediante FEM son esenciales para evitar consecuencias graves que podrían comprometer tanto la seguridad operativa como la integridad de la estructura y la seguridad de las personas involucradas. La falta de atención a estos aspectos tiene efectos adversos significativos, que subrayan la necesidad imperiosa de una evaluación meticulosa y basada en estándares rigurosos.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema principal

¿Cómo puede desarrollarse un análisis estructural eficiente de la base de una grúa en cubierta y el reforzamiento bajo cubierta utilizando el método de elementos finitos para garantizar la seguridad operacional de la grúa en una embarcación costera de transporte de carga y gente de mar?

1.3.2 Problemas secundarios

- ¿Cuáles son los requisitos y especificaciones técnicas necesarios para llevar a cabo un análisis estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta en una embarcación costera?
- ¿Cómo puede realizarse un diseño estructural adecuado y un análisis de cargas preciso para la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta, considerando las especificaciones técnicas y los lineamientos y recomendaciones de las sociedades clasificadoras?
- ¿De qué manera puede simularse numéricamente la integridad estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta mediante el método de elementos finitos, asegurando que se cumplan los criterios de aceptación y los factores de seguridad requeridos?

1.4 Justificación e importancia

La importancia de realizar un análisis estructural de la base de una grúa y el refuerzo bajo cubierta en embarcaciones costeras de transporte de carga radica en garantizar la seguridad operativa y la integridad estructural del sistema. En el ámbito marítimo, las grúas desempeñan un papel en el manejo y transporte de carga, y su correcto funcionamiento es esencial para la eficiencia y seguridad de las operaciones portuarias y de carga. La estructura de soporte de estas grúas, tanto en la base instalada en la cubierta como en el refuerzo subyacente, debe ser capaz de soportar cargas dinámicas y estáticas sin comprometer la estabilidad de la embarcación ni la seguridad de la carga y el personal a bordo.

El análisis estructural mediante el método de elementos finitos (FEM) es una herramienta crítica en este contexto, proporcionando una simulación numérica que permite evaluar la capacidad de la estructura para resistir las condiciones operativas a las que está sometida. La complejidad de las cargas involucradas, que incluyen las cargas dinámicas durante el izaje, hace que el análisis y diseño estructural precisos sean fundamentales. Sin

una evaluación adecuada, la estructura es incapaz de soportar las tensiones a las que se enfrenta, resultando en posibles fallos estructurales que podrían tener graves consecuencias.

La justificación de un análisis estructural radica en la necesidad de prevenir riesgos significativos asociados con fallos estructurales. Las embarcaciones costeras enfrentan un entorno de operación desafiante, donde las cargas a las que se someten las grúas varía considerablemente. Un análisis inadecuado conlleva a un diseño deficiente que no tenga en cuenta todas las variables operativas, aumentando el riesgo de deformaciones excesivas, grietas en los materiales o incluso fallos catastróficos. Tales fallos no solo comprometen la seguridad de la carga, sino que también ponen en peligro a las personas a bordo y resultan en pérdidas económicas considerables debido a daños en la embarcación y la carga.

Además, la precisión en la definición de los requisitos técnicos y en el diseño estructural influye directamente en el cumplimiento de los estándares y regulaciones establecidas por las sociedades clasificadoras. Estas organizaciones proporcionan directrices que aseguran que las estructuras cumplan con los niveles adecuados de seguridad y rendimiento. Un diseño y análisis estructural inadecuado da lugar a la no conformidad con estos estándares, lo que no solo pone en riesgo la seguridad operativa, sino que también resulta en la incapacidad de obtener las certificaciones necesarias para la operación de la grúa.

La importancia del análisis estructural también se manifiesta en la necesidad de garantizar la durabilidad y la longevidad de la estructura. Las grúas en embarcaciones costeras están sujetas a condiciones de operación que aceleran el desgaste de los materiales. Un diseño estructural robusto y un análisis preciso aseguran que la estructura soporta el uso prolongado sin deteriorarse prematuramente. Esto no es solo para mantener la seguridad, sino también para reducir costos operativos asociados con el mantenimiento y la reparación de estructuras defectuosas.

En suma, la justificación e importancia del análisis estructural de la base de una grúa y el refuerzo bajo cubierta en embarcaciones costeras radican en la garantía de seguridad operacional, el cumplimiento de regulaciones, y la protección de la integridad de la estructura y la carga. La aplicación adecuada del método de elementos finitos permite una evaluación precisa de las condiciones estructurales, contribuyendo a la prevención de fallos y asegurando la estabilidad y seguridad a largo plazo de las operaciones marítimas. La relevancia de este análisis no se subestima, dado su impacto en la seguridad de las operaciones, la protección de recursos y el cumplimiento de estándares de calidad y seguridad.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Desarrollar un análisis estructural de la base de una grúa en cubierta y el reforzamiento bajo cubierta mediante método de elementos finitos para la seguridad operacional de la grúa en una embarcación costera de transporte de carga y gente de mar.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar los requisitos y especificaciones técnicas para el análisis estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta.
- Realizar el diseño estructural y análisis de cargas para la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta.
- Simular numéricamente la integridad estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta mediante el método de elementos finitos.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

El desarrollo de un análisis estructural eficiente de la base de una grúa en cubierta y el reforzamiento bajo cubierta utilizando el método de elementos finitos garantizará la

seguridad operacional de la grúa en una embarcación costera de transporte de carga y gente de mar.

1.6.2 Hipótesis específicas

- Los requisitos y especificaciones técnicas necesarios para el análisis estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta pueden ser claramente definidos y documentados, asegurando una base sólida para el diseño y análisis estructural.
- Un diseño estructural adecuado y un análisis de cargas preciso, que considere las especificaciones técnicas y los lineamientos y recomendaciones de las sociedades clasificadoras, resultará en una base de grúa y un reforzamiento bajo cubierta que soporten de manera segura las cargas operativas y dinámicas.
- La simulación numérica de la integridad estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta mediante el método de elementos finitos aseguraría el cumplimiento de los criterios de aceptación y los factores de seguridad requeridos, garantizando así la integridad y la seguridad operacional de la grúa.

1.7 Variables y Operacionalización

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<u>V. Dependiente:</u> Y1: Seguridad operacional de la grúa	Es el factor de seguridad en que la grúa puede operar sin fallos estructurales, garantizando protección para la carga y las personas a bordo en una embarcación costera.	Seguridad operacional	Factor de seguridad
<u>V. Independiente:</u> X1: Requisitos y especificaciones técnicas	Documentación de los parámetros técnicos necesarios para el diseño y análisis estructural de la base de la grúa y su reforzamiento.	Cumplimiento normativo	Cumplimiento con las normativas y especificaciones técnicas relevantes.
X2: Diseño estructural y análisis de cargas	Proceso de creación de un diseño estructural adecuado y análisis preciso de las cargas estáticas y dinámicas que actúan sobre la base de la grúa.	Precisión del diseño	Relación entre las cargas calculadas y las cargas permisibles
X3: Simulación numérica de la integridad estructural	Uso de software de elementos finitos para modelar y evaluar la resistencia estructural de la base de la grúa bajo condiciones operativas específicas.	Exactitud de la simulación	Resultados de simulación que cumplen con los criterios de aceptación.

1.8 Metodología de la investigación

1.8.1 Unidad de análisis

La unidad de análisis es la base de la grúa y el sistema de refuerzo bajo cubierta de una embarcación costera. Esta unidad incluye los elementos estructurales específicos, los materiales utilizados, las normativas aplicables y el rendimiento operativo relacionado con el transporte de carga y personas.

1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que se enfoca en resolver problemas prácticos y específicos relacionados con la seguridad estructural de la base de una grúa y el refuerzo bajo cubierta en embarcaciones costeras. Busca utilizar el método de elementos finitos y las normativas existentes para mejorar el diseño, garantizar el cumplimiento de los requisitos técnicos y optimizar el rendimiento operativo en entornos reales. Esta investigación tiene como objetivo proporcionar soluciones concretas y viables para asegurar la integridad estructural y la seguridad operacional de las grúas en contextos marítimos específicos.

El enfoque de investigación es mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para abordar de manera integral el análisis estructural de la base de una grúa y el refuerzo bajo cubierta en embarcaciones costeras. El componente cuantitativo se basa en simulaciones numéricas y análisis de datos estructurales utilizando el método de elementos finitos, proporcionando resultados precisos sobre la capacidad de carga y la seguridad. El componente cualitativo incluye la revisión de normativas, recomendaciones de sociedades clasificadoras y catálogos de fabricantes para contextualizar y validar los resultados numéricos, asegurando que el análisis cumpla con los estándares y requisitos técnicos aplicables.

El nivel de investigación es descriptivo, ya que se enfoca en detallar y documentar las características y condiciones estructurales de la base de una grúa y el refuerzo bajo

cubierta en embarcaciones costeras. A través de la recopilación y análisis de datos técnicos, especificaciones normativas y resultados de simulaciones, la investigación busca describir de manera precisa las propiedades, el diseño y el rendimiento de estas estructuras. Este enfoque proporciona una visión clara y comprensiva de los elementos involucrados, sin necesariamente investigar relaciones causales, centrándose en la descripción y evaluación de los aspectos técnicos y operativos relacionados con la seguridad estructural.

1.8.3 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es experimental, ya que implica la aplicación práctica de métodos analíticos y la realización de pruebas para evaluar el comportamiento estructural de la base de una grúa y el refuerzo bajo cubierta en embarcaciones costeras. Este diseño permite manipular variables y condiciones específicas para observar cómo afectan la seguridad y el rendimiento de las estructuras. A través de simulaciones numéricas y ensayos, se experimenta con diferentes configuraciones y condiciones operativas para obtener datos empíricos que validen y optimicen el diseño estructural, asegurando su adecuación a los requisitos técnicos y normativos.

1.8.4 Fuentes de información

- Normas ASTM: Proporcionan estándares internacionales para materiales y métodos de ensayo que son esenciales para asegurar la calidad y la fiabilidad de los componentes estructurales.
- Lineamientos y recomendaciones de Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd (DNVGL): Ofrecen directrices específicas para el diseño y análisis estructural de embarcaciones, garantizando el cumplimiento de criterios de seguridad y desempeño.
- Lineamientos y recomendaciones del American Bureau of Shipping (ABS): Proveen normas para la evaluación y certificación de estructuras marítimas, enfocándose en la seguridad y la integridad estructural.

- ISO 12215-5: Establece criterios para el diseño estructural de cascos y estructuras de embarcaciones, particularmente en relación con el refuerzo y la resistencia de las cubiertas.
- ISO 12217-1: Ofrece directrices para la evaluación de la estabilidad y el rendimiento estructural de embarcaciones, para el análisis de la base de grúas y refuerzos bajo cubierta.
- Catálogos de fabricante del modelo de grúa M 65.20A de GUERRA: Proveen especificaciones técnicas y recomendaciones de instalación y operación específicas para el modelo de grúa en cuestión.
- Manual de uso del software Salome-Meca: Ofrece instrucciones y procedimientos para realizar simulaciones numéricas y análisis estructurales utilizando este software de análisis por elementos finitos.
- Planos varios: Incluyen detalles constructivos y dimensiones precisas que son necesarios para una evaluación exacta de la base de la grúa y el refuerzo bajo cubierta.

1.8.5 Población y muestra

La población está constituida por embarcaciones costeras de transporte de carga y gente de mar, con una eslora que varía entre 12 y 16 metros, y una capacidad para soportar una carga máxima en cubierta de 5 toneladas. Estas embarcaciones representan un rango de características típicas en el entorno marítimo costero, donde se realiza el análisis estructural.

La muestra seleccionada es una embarcación costera con una eslora de 14 metros, manga de 4.8 metros, puntal de 2.31 metros, y una capacidad máxima en cubierta de 5 toneladas. La embarcación cuenta con una tripulación y pasajeros total de 11 personas. La grúa analizada es del modelo M 65.20 A de la marca GUERRA, específicamente diseñada para aplicaciones marinas, destacando por su alta calidad y confiabilidad en

condiciones adversas. Esta muestra representa un caso representativo dentro de la población para el análisis estructural.

1.8.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Simulación por Elementos Finitos (FEM): Utilización del software Salome-Meca para realizar simulaciones numéricas que permiten evaluar la integridad estructural de la base de la grúa y el refuerzo bajo cubierta, considerando diferentes condiciones operativas y de carga.
- Análisis de Planos: Revisión y análisis de planos constructivos de la embarcación y de la grúa para obtener información precisa sobre las dimensiones, especificaciones y diseño estructural.
- Catálogos de Fabricantes: Consulta de catálogos técnicos del modelo de grúa M 65.20A de la marca GUERRA para obtener datos sobre especificaciones técnicas, capacidades y recomendaciones de instalación.
- Normas y Reglamentaciones: Aplicación de normas ASTM, ISO 12215-5, ISO 12217-1, y los lineamientos de las sociedades clasificadoras DNVGL y ABS para garantizar el cumplimiento de estándares y regulaciones en el diseño y análisis estructural.
- Manual del Software: Uso del manual de Salome-Meca para guiar el proceso de simulación y análisis, asegurando la correcta aplicación de las herramientas del software para obtener resultados precisos.
- Entrevistas con Expertos: Realización de entrevistas con ingenieros estructurales y especialistas en diseño de grúas para obtener información adicional y validación de los enfoques y métodos de análisis.
- Revisión Bibliográfica: Consulta de literatura técnica y estudios previos sobre análisis estructural de grúas y embarcaciones costeras para contextualizar y respaldar el análisis y los resultados obtenidos.

1.8.7 Análisis y procesamiento de datos

- Evaluación de Requisitos Estructurales: Análisis de las especificaciones estructurales necesarias para soportar la base de la grúa hidráulica, considerando la resistencia y rigidez del casco de la embarcación. Esto incluye el estudio de las capacidades de carga y el impacto en la estructura existente.
- Modelado y Simulación por FEM: Implementación del método de elementos finitos (FEM) utilizando el software Salome-Meca para simular la base de la grúa en diferentes condiciones operativas y de carga. Esto permitirá evaluar el comportamiento estructural bajo cargas dinámicas y estáticas.
- Análisis de Espacio y Capacidad: Revisión del espacio disponible en la cubierta para la instalación de la grúa, asegurando que se cumpla con los requisitos operativos y de carga sin comprometer la estabilidad y seguridad de la embarcación.
- Revisión de Normativas y Requisitos: Comparación de los resultados obtenidos con las normas ASTM, ISO 12215-5, ISO 12217-1, y los lineamientos de las sociedades clasificadoras (DNVGL y ABS) para asegurar que el diseño cumpla con los estándares de seguridad y operativos.
- Validación con Datos del Fabricante: Contraste de los resultados del análisis con las especificaciones y recomendaciones del catálogo del modelo de grúa M 65.20A de GUERRA para verificar la viabilidad del diseño y la correcta aplicación de las recomendaciones del fabricante.
- Evaluación de Criterios de Aceptación: Determinación de si los factores de seguridad, las cargas máximas y otros criterios de aceptación cumplen con los requisitos establecidos en las normativas y en el diseño estructural, ajustando el modelo según sea necesario.
- Análisis de Impacto Operativo: Evaluación de cómo la implementación de la base de grúa afecta la operación general de la embarcación, incluyendo la

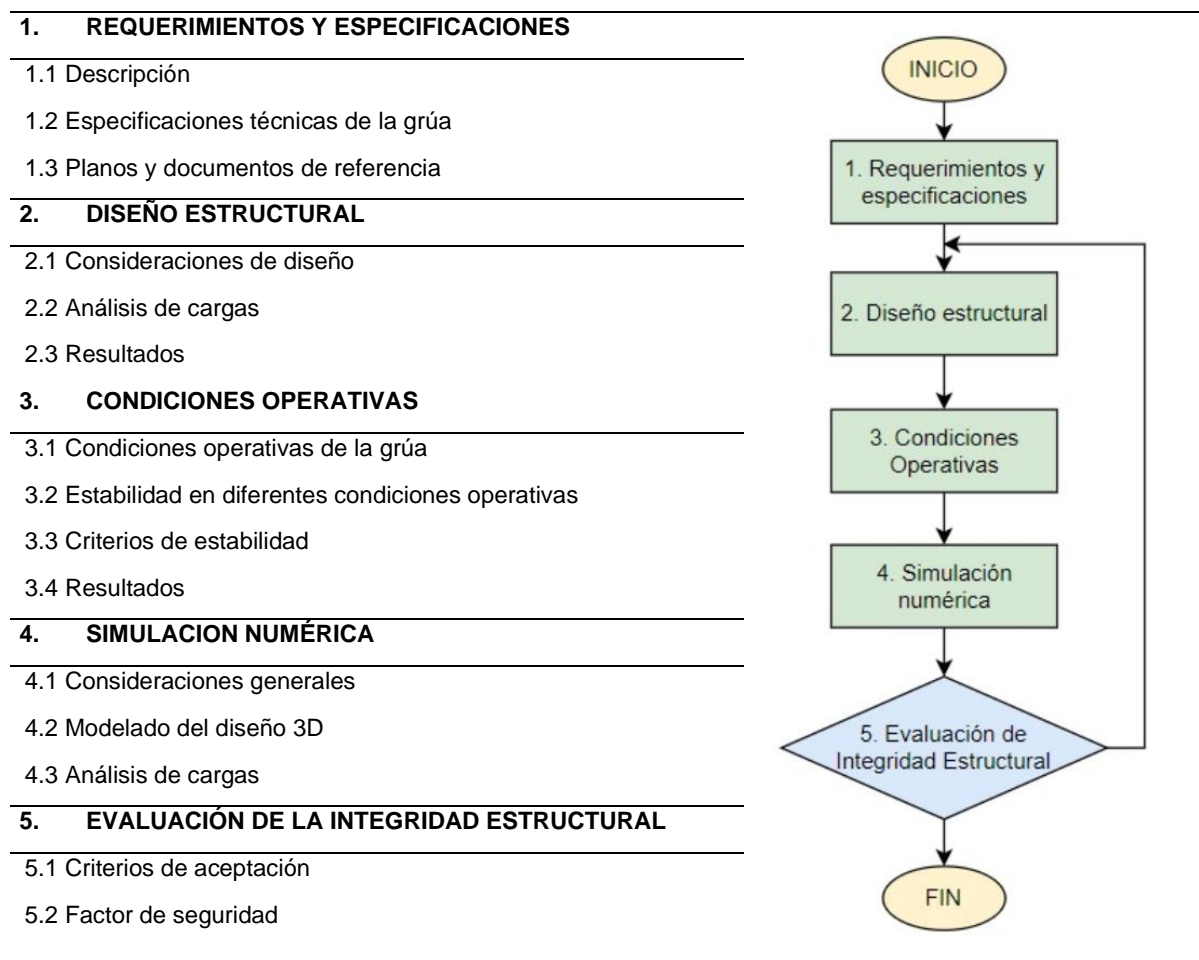
distribución de cargas, la estabilidad y la funcionalidad durante las operaciones de carga y descarga.

- Documentación y Reporte: Compilación de los resultados de las simulaciones, el análisis de espacio, la revisión de normativas y la validación con datos del fabricante en un informe técnico que incluya conclusiones y recomendaciones para la implementación de la base de grúa.

Por ello para realizar el análisis se seguirá la siguiente metodología.

Tabla 2

Metodología de análisis y procesamiento de datos.



CAPÍTULO II

Marco teórico y conceptual

El análisis estructural de una base de grúa y reforzamiento bajo cubierta en una embarcación costera de transporte de carga y gente de mar representa un desafío multidisciplinario que requiere un sólido marco teórico en diversas áreas de conocimiento para asegurar un diseño seguro, eficiente y funcional en entornos costeros. Este marco teórico establece las bases conceptuales esenciales para comprender y abordar los aspectos fundamentales que intervienen en la optimización del diseño, la seguridad y la eficiencia operativa en este contexto particular.

La sección del marco teórico en este análisis abarca una variedad de temas. Inicia con un enfoque en la embarcación costera de transporte de carga y gente de mar, considerando su diseño, características estructurales y capacidades de carga, ya que la base de grúa y reforzamiento bajo cubierta debe adaptarse de manera precisa y segura a este entorno específico. El respaldo bibliográfico es **(Weintrit & Neumann, 2011)**.

Posteriormente, la sección de Ingeniería Estructural se centra en los principios de resistencia de materiales, mecánica de estructuras y análisis de tensiones y deformaciones. Esta disciplina resulta fundamental para evaluar la viabilidad de instalar una grúa en la embarcación costera, garantizando la integridad estructural y la seguridad durante las operaciones de grúas marítimas. El respaldo bibliográfico es **(Hughes, Paik & Béghin, 2010)** y **(Sood, 2017)** quienes aportan principios y consideraciones específicas al diseñar grúas a operaciones marítimas, que incluye su capacidad de carga, alcance,

resistencia al viento y las olas, entre otros factores relevantes para su correcto funcionamiento en condiciones marítimas.

Por otro lado, el apartado de Reforzamiento de bases de grúas en la embarcación costeras explora el reforzamiento estructural necesario en la base de la grúa y bajo cubierta para la instalación de la grúa en la embarcación costera, considerando la distribución de cargas y fuerzas, así como la estabilidad y adaptabilidad del diseño modificado. Esta sección es de elaboración propia con la suma de la experiencia y detalles de adaptación estructural.

Las Normas y Regulaciones Marítimas abarcan una gama de estándares y regulaciones emitidos por instituciones como el American Bureau of Shipping (ABS) y Det Norske Veritas (DNV), entre otras, que son fundamentales para garantizar el cumplimiento normativo y la seguridad en las operaciones marítimas.

Finalmente, la sección de Avances en Tecnología y Control aborda la evolución de la tecnología en sistemas de grúas marítimas, desde el diseño estructural hasta estrategias de control y automatización, enfocándose en la seguridad, optimización operativa y casos de estudio relevantes en este campo en constante desarrollo.

Este marco teórico proporciona la base fundamental para comprender los desafíos y aplicar soluciones efectivas en el análisis estructural de la base de grúa y reforzamiento bajo cubierta en una embarcación costera de transporte de carga y gente de mar, asegurando un diseño óptimo y seguro en entornos costeros desafiantes.

2.1 Marco teórico general

2.1.1 Embarcación costera de transporte de carga y gente de mar

Las embarcaciones costeras en el transporte de carga y gente de mar en regiones costeras están diseñadas específicamente para enfrentar los desafíos particulares de la navegación en aguas cercanas a la costa, proporcionando una conexión esencial entre regiones remotas y centros urbanos.

Las embarcaciones costeras de transporte de carga y gente de mar se distinguen por su capacidad multifuncional. Estas embarcaciones, que van desde pequeñas barcas hasta buques de tamaño medio, están diseñadas para transportar tanto carga como gente de mar. La capacidad de carga varía según el tamaño y la capacidad estructural de la embarcación, adaptándose a las necesidades específicas de la región que opera.

Existen varios tipos de embarcaciones costeras utilizadas en todo el mundo. Las barcas, con su diseño plano y capacidad para navegar en aguas poco profundas, son comunes para el transporte de mercancías y materiales a lo largo de ríos y áreas costeras. Los buques de carga costera de mayor tamaño, como los cargueros y ferries, ofrecen una capacidad más extensa para pasajeros y mercancías, operando en rutas marítimas específicas. También hay adaptación de remolcadores, ver figura 8, para realizar operaciones costeras de transporte de carga y gente de mar.

Figura 8

Vista tridimensional de modelo de embarcación costera analizado



Estas embarcaciones costeras son encargadas de realizar la logística (proveer de suministros, consumibles y personal) a diversas embarcaciones en el lugar de fondeadero.

Para el caso de análisis son embarcaciones diseñados para operar en condiciones de puerto o aguas protegidas donde no exista movimiento significativo de la embarcación debido a la acción de olas.

Para abordar los desafíos operativos y garantizar la seguridad en la navegación costera, existen normativas y clasificaciones específicas. Organizaciones reconocidas de la IACS establecen estándares para el diseño, construcción y operación segura de embarcaciones costeras. Lineamientos y recomendaciones de las IACS abarcan aspectos como la estabilidad, resistencia estructural, sistemas de propulsión y seguridad de la gente de mar.

El avance tecnológico también ha influido en el diseño y operación de las embarcaciones costeras. La introducción de sistemas de navegación avanzados, propulsión eficiente y prácticas sostenibles destaca el compromiso de la industria marítima hacia la innovación y la reducción del impacto ambiental. El uso de tecnologías limpias y combustibles más sostenibles se ha convertido en una prioridad para abordar las preocupaciones medioambientales.

2.1.2 Diseño estructural

El diseño estructural se basa en la creación de estructuras que soporten cargas y resistencias específicas mientras mantienen la estabilidad y seguridad durante su vida útil. El objetivo principal es garantizar que las estructuras sean capaces de soportar las fuerzas a las que estarán sometidas sin fallar, deformarse excesivamente, o comprometer la seguridad.

2.1.2.1 Principios del Diseño Estructural

- **Cargas y Fuerzas:** Las estructuras deben ser diseñadas para soportar una variedad de cargas, incluyendo cargas estáticas (como el peso propio y la carga permanente) y cargas dinámicas (como las producidas por el viento, olas y movimientos de la embarcación). En el caso de una base de grúa, esto incluye cargas adicionales derivadas de las operaciones de carga y descarga.
- **Factores de Seguridad:** Los factores de seguridad son coeficientes aplicados para garantizar que la estructura soporta cargas más allá de las previstas. Estos

factores tienen en cuenta incertidumbres en los materiales, los métodos de construcción y las condiciones operativas.

- **Resistencia de Materiales:** El diseño estructural implica la selección de materiales con propiedades adecuadas, como resistencia a la tracción, compresión, y fatiga. Los materiales deben ser capaces de resistir las fuerzas a las que estarán expuestos sin fallar.

2.1.3 Métodos de Análisis Estructural

- **Método de Elementos Finitos (FEM):** El FEM es una técnica de análisis numérico que descompone una estructura en elementos más pequeños y analiza sus comportamientos bajo diversas cargas. Este método permite simular el comportamiento de la base de la grúa y el refuerzo bajo diferentes condiciones operativas, proporcionando una evaluación de la integridad estructural.
- **Análisis Estático y Dinámico:** El análisis estático considera las cargas constantes y su efecto sobre la estructura, mientras que el análisis dinámico evalúa cómo las cargas variables y las fuerzas dinámicas afectan el comportamiento estructural. En el contexto de una embarcación costera, ambos tipos de análisis son esenciales para evaluar el impacto de las condiciones marítimas.

2.1.4 Normativas y Estándares

- **Normas ASTM:** Las normas ASTM proporcionan directrices para los materiales de construcción y los métodos de prueba. Estas normas aseguran que los materiales utilizados en la base de la grúa cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad.
- **ISO 12215-5:** Esta norma especifica los requisitos para el diseño estructural de cascos y cubiertas de embarcaciones, incluyendo el refuerzo necesario para soportar cargas adicionales, como las de una grúa.

- **ISO 12217-1:** Proporciona directrices para la evaluación de la estabilidad y el rendimiento estructural de embarcaciones, considerando factores como el peso, la distribución de cargas y las condiciones operativas.
- **Lineamientos de Sociedades Clasificadoras (DNVGL y ABS):** Estos lineamientos ofrecen recomendaciones específicas para el diseño y la certificación de estructuras marítimas, asegurando que las embarcaciones cumplan con los estándares internacionales de seguridad y rendimiento.

2.1.5 Diseño Estructural de Grúas Marinas

El diseño de bases para grúas marinas debe considerar las cargas adicionales y las fuerzas dinámicas a las que la grúa estará sometida. Las bases deben ser suficientemente robustas para soportar el peso de la grúa y la carga que maneja, así como las fuerzas producidas durante el movimiento de la carga y las condiciones ambientales adversas.

- **Selección de Materiales:** Los materiales utilizados deben tener una alta resistencia a la corrosión y a la fatiga, dado que las grúas marinas están expuestas a condiciones húmedas y a variaciones extremas de temperatura.
- **Integración con la Estructura de la Embarcación:** La base de la grúa debe integrarse de manera efectiva con la estructura existente de la embarcación, garantizando que el peso y las cargas adicionales no comprometan la estabilidad y la seguridad de la nave.
- **Evaluación de Condiciones Operativas:** El diseño debe tener en cuenta las condiciones operativas específicas, como el tipo de carga, la frecuencia de operación y el impacto de las condiciones marítimas sobre la estructura de la grúa y la base.

2.1.5.1 Impacto en el diseño y la operación de las grúas marítimas

El diseño de grúas marítimas debe considerar numerosos factores para asegurar su eficacia y seguridad en entornos marinos. Entre los principales impactos en el diseño se incluyen:

- **Condiciones Ambientales:** Las grúas marítimas deben ser diseñadas para resistir condiciones adversas como el viento, la corrosión del agua salada y las variaciones extremas de temperatura. Esto requiere la selección de materiales resistentes a la corrosión y la aplicación de recubrimientos protectores.
- **Carga y Estabilidad:** El diseño debe asegurar que la grúa maneja las cargas previstas sin comprometer la estabilidad de la embarcación. Esto implica una estructura robusta capaz de soportar tanto el peso de la carga como las fuerzas dinámicas generadas durante las operaciones.
- **Integración con la Estructura de la Embarcación:** La base de la grúa debe integrarse de manera efectiva con la estructura existente de la embarcación. Un diseño adecuado debe evitar la sobrecarga en áreas específicas y garantizar la distribución uniforme de las cargas.

La operación de grúas marítimas está influenciada por varios factores críticos:

- **Capacidad Operativa:** La capacidad de carga y el alcance de la grúa deben estar alineados con los requisitos operativos de la embarcación. La grúa debe funcionar de manera eficiente y segura bajo las condiciones para las que fue diseñada, teniendo en cuenta las variaciones en el peso de la carga y las condiciones del mar.
- **Mantenimiento y Fiabilidad:** Las grúas marítimas requieren un mantenimiento regular para asegurar su funcionamiento óptimo. Las condiciones severas en el entorno marino aceleran el desgaste y la corrosión, por lo que es esencial un programa de mantenimiento preventivo y correctivo.
- **Seguridad Operacional:** La operación debe garantizar la seguridad de la tripulación y la integridad de la embarcación. Esto implica la capacitación

adecuada del personal, la implementación de procedimientos operativos estándar y la revisión constante de las condiciones operativas para minimizar riesgos.

2.1.6 Avances en tecnología y control

El constante progreso tecnológico y los avances en el control han sido fundamentales en el desarrollo de grúas marítimas para embarcación costeras de transporte de carga y gente de mar. Los sistemas modernos integran tecnologías emergentes que mejoran la eficiencia operativa y la seguridad en entornos costeros desafiantes.

La evolución en la tecnología ha permitido la implementación de sistemas de control avanzados, como el control automático adaptativo y los sistemas de control basados en computadoras. Estos sistemas brindan una mayor precisión en el posicionamiento y el manejo de la carga, reduciendo la probabilidad de oscilaciones no deseadas durante las operaciones de elevación y movimiento de cargas pesadas.

Además, los avances en sensores, como los sensores inerciales y los sistemas de monitoreo remoto, han mejorado significativamente la capacidad de las grúas para detectar y responder a cambios ambientales y condiciones marítimas variables. Estos dispositivos proporcionan datos en tiempo real sobre la posición, movimiento y cargas, permitiendo una supervisión y control más precisos durante las operaciones de carga y descarga.

2.1.6.1 Tecnologías emergentes en sistemas de grúas marítimas

El avance tecnológico ha transformado los sistemas de grúas utilizados en embarcaciones de transporte, marcando hitos significativos en diferentes aspectos. Los materiales estructurales han evolucionado hacia aleaciones de aluminio de alta resistencia, composites y aceros avanzados. Estos materiales ofrecen diseños más livianos y resistentes, mejorando la capacidad de carga y proporcionando mayor durabilidad, especialmente en entornos costeros corrosivos.

La integración de sensores inteligentes ha revolucionado el monitoreo y la operatividad de las grúas. Los sistemas avanzados de posicionamiento dinámico permiten un control más preciso, adaptándose a las condiciones cambiantes del mar para mantener la estabilidad durante las operaciones de elevación. Además, los sistemas de monitoreo remoto brindan datos en tiempo real sobre el rendimiento y el estado operativo de la grúa, lo que mejora la eficiencia y facilita el mantenimiento preventivo.

Estos avances tecnológicos no solo han aumentado la capacidad de carga y la resistencia de las grúas marítimas, sino que también han mejorado significativamente su seguridad, eficiencia operativa y confiabilidad en entornos desafiantes, lo que ha impulsado la evolución continua de estos sistemas en la industria marítima.

2.1.6.2 Estrategias de control y automatización

En el ámbito de las estrategias de control para sistemas de grúas en entornos costeros, se han aplicado diversas técnicas avanzadas que buscan mejorar su desempeño y funcionalidad. Se exploran y discuten enfoques innovadores de control, como los controladores PID adaptativos que permiten ajustes automáticos en función de las condiciones cambiantes del entorno. Asimismo, se considera el uso de técnicas de control basado en lógica difusa, que emplean reglas y condiciones variables para adaptarse a situaciones complejas y variables en el entorno marítimo.

Además, se estudian sistemas de control de retroalimentación para optimizar la estabilidad, la precisión y la respuesta dinámica de las grúas en el transporte de carga y gente de mar. Estos sistemas se enfocan en garantizar una operación más fluida y segura, minimizando posibles oscilaciones y mejorando la eficiencia durante las maniobras de elevación y descenso.

Los avances en automatización y sistemas de asistencia también son relevantes. Estos desarrollos buscan optimizar la ejecución de tareas complejas mediante la incorporación de sistemas inteligentes, lo que conlleva operaciones más seguras, eficientes y precisas, al tiempo que reduce la carga de trabajo para los operadores. Estas

estrategias y tecnologías de control representan un avance significativo en la mejora del rendimiento y la seguridad de las grúas en entornos costeros.

2.1.6.3 Seguridad y optimización operativa

La seguridad en las operaciones marítimas es una prioridad fundamental. En este contexto, se ha desarrollado una gama de avances en sistemas de seguridad para garantizar la protección durante las operaciones de manipulación de carga en grúas marítimas. Estos sistemas incluyen tecnologías innovadoras como sistemas de detección de obstáculos, dispositivos de seguridad integrados, y sistemas de advertencia avanzados que ayudan a prevenir accidentes y minimizar riesgos durante las maniobras de carga y descarga.

Paralelamente, se han implementado protocolos de gestión de riesgos que se centran en la identificación, evaluación y mitigación de posibles amenazas en las operaciones de las grúas marítimas. Esto incluye la capacitación de operadores en procedimientos de seguridad y el establecimiento de directrices estrictas para el manejo seguro de carga.

Además, se consideran técnicas de optimización operativa que van más allá de la seguridad, incorporando la planificación eficiente de rutas, gestión de energía y estrategias para una distribución efectiva de la carga. Estas prácticas mejoran significativamente la productividad, reducen los tiempos de inactividad y los costos operativos, al tiempo que mantienen un enfoque central en la seguridad y la integridad durante las operaciones de las grúas en entornos costeros.

2.1.6.4 Casos de estudio y aplicaciones prácticas

Los casos de estudio y aplicaciones prácticas comprenden la efectividad y el impacto real de los avances tecnológicos y las estrategias de control en los sistemas de grúas en embarcaciones de transporte. Estos casos brindan una visión en profundidad de la aplicación de nuevas tecnologías y estrategias en entornos costeros reales.

Los estudios de caso involucran la implementación de sistemas de control adaptativos en grúas montadas en buques de carga para mejorar la estabilidad y la precisión durante las operaciones de carga y descarga. Estos ejemplos prácticos demuestran cómo los algoritmos de control adaptativo ajustan dinámicamente la respuesta de la grúa para contrarrestar las perturbaciones, como el movimiento del buque en el agua, garantizando así una manipulación de carga más precisa y segura.

Además, podrían incluir aplicaciones específicas de tecnologías emergentes, como sensores avanzados o sistemas de posicionamiento, que han mejorado la eficiencia operativa y la seguridad en la manipulación de carga en condiciones climáticas adversas o entornos costeros difíciles.

Estos casos de estudio permiten evaluar cómo estas innovaciones tecnológicas y estrategias de control se implementan y cómo influyen directamente en la eficiencia, seguridad y rentabilidad de las operaciones de grúas en entornos costeros del mundo real.

2.2 Marco conceptual

El Método de Elementos Finitos (FEM) es una técnica numérica ampliamente utilizada para resolver problemas de ingeniería y física. En esta sección se desarrolla un breve marco conceptual que abarque varios elementos clave.

2.2.1 Discretización del Dominio

En el FEM, el dominio del problema se divide en una colección de elementos finitos. Estos elementos son de diferentes formas y dimensiones, como triángulos en 2D o tetraedros en 3D. Esta discretización permite aproximar la solución continua del problema en un conjunto discreto de puntos o nodos.

2.2.2 Enmallado (Meshing)

El proceso de enmallado implica la generación de una malla o red de elementos finitos que cubren todo el dominio del problema. Esta malla debe ser lo suficientemente fina para capturar con precisión los detalles importantes del fenómeno físico que se está

modelando, pero lo suficientemente gruesa para mantener la eficiencia computacional. La calidad de la malla es para la precisión y estabilidad del análisis.

2.2.3 Funciones de Forma

Para representar el comportamiento aproximado de la solución dentro de cada elemento finito, se utilizan funciones de forma. Estas funciones son polinomios que interpolan los valores de la solución en los nodos del elemento. La elección de las funciones de forma depende del tipo y la forma del elemento finito utilizado.

2.2.4 Condición de Contorno

Las condiciones de contorno describen el comportamiento de la solución en los límites del dominio del problema. Son de diferentes tipos, como condiciones de desplazamiento prescritas, fuerzas aplicadas, temperaturas fijas, entre otros. Estas condiciones son fundamentales para resolver el problema de manera única y representativa de la situación física real.

2.2.5 Preprocesamiento

Esta etapa del análisis involucra la preparación de la geometría del problema, la definición de las condiciones de contorno y la generación de la malla. También incluyen la asignación de propiedades materiales a los elementos y la definición de las cargas aplicadas. El preprocesamiento es para configurar correctamente el problema antes de la solución numérica.

CAPÍTULO III

Desarrollo del trabajo de investigación

El capítulo aborda de manera integral los aspectos fundamentales relacionados con el análisis estructural de la base de una grúa y el refuerzo bajo cubierta en embarcaciones costeras. Este capítulo está diseñado para proporcionar una visión sistemática de los procedimientos y metodologías utilizados en el estudio.

Inicia con la sección 3.1, "Requerimientos y especificaciones", donde se identifican y documentan las normativas técnicas y las especificaciones necesarias para el análisis estructural, estableciendo las bases para el diseño y evaluación de la estructura. La sección 3.2, "Diseño estructural", explora el proceso de desarrollo del diseño, considerando los factores críticos como las cargas aplicadas y la integración con la estructura existente de la embarcación.

La sección 3.3, "Condiciones operativas", examina las condiciones específicas en las que operará la grúa, incluyendo las cargas dinámicas y estáticas, y su impacto en el diseño. A continuación, la sección 3.4, "Simulación numérica", describe el uso de herramientas computacionales para modelar y analizar el comportamiento de la estructura bajo diferentes condiciones.

Finalmente, la sección 3.5, "Evaluación por método de elementos finitos de la estructura dimensionada", presenta los resultados de las simulaciones numéricas, evaluando la integridad estructural y la seguridad de la base de la grúa en función de los criterios establecidos. Este capítulo proporciona una base sólida para comprender la

metodología y los resultados del análisis estructural en el contexto específico de las embarcaciones costeras.

3.1 Requerimientos y especificaciones

Este es un marco fundamental para el análisis estructural de la base de una grúa en una embarcación costera, proporcionando una comprensión de los aspectos clave relacionados con el diseño y las condiciones operativas.

Primero, se describe la tipología y función específica de la embarcación costera, destacando su papel en el transporte de carga y gente de mar. La naturaleza y el propósito de la embarcación influyen de manera determinante en las cargas que la grúa deberá soportar y en las condiciones operativas a las que estará expuesta. Esto establece el contexto necesario para el diseño estructural de la base de la grúa.

A continuación, se detallan las dimensiones principales de la embarcación, incluyendo longitud total, manga, calado y altura. Estos datos son esenciales para comprender la capacidad de carga, la estabilidad y el espacio disponible en la cubierta para la instalación de la grúa. La extensión y disposición de la cubierta también se consideran para evaluar el espacio y las posibles limitaciones para la ubicación de la grúa, proporcionando una visión completa de las proporciones físicas del buque.

La disposición de la superestructura, la distribución de la carga a lo largo del casco y la ubicación de áreas críticas como el centro de gravedad se abordan en esta sección. Estos aspectos calculan las cargas máximas que la base de la grúa deberá soportar y garantizar que el diseño estructural mantenga la estabilidad y seguridad de la embarcación.

La fase de planificación y recopilación de información es fundamental en la investigación técnica. En este caso, se enfoca en la obtención y análisis de planos y documentación de referencia. Los planos de la embarcación costera proporcionan una representación gráfica de su estructura, diseño y disposición general, incluyendo la cubierta, los compartimientos, y la distribución de equipos y sistemas de propulsión. Estos planos son esenciales para una comprensión inicial de la embarcación y su entorno.

La documentación de referencia abarca manuales de diseño, informes técnicos previos y estudios relacionados con la instalación de grúas en embarcaciones. Esta información permite a los investigadores contextualizar su trabajo dentro del marco más amplio de la ingeniería naval y el diseño de embarcaciones. La revisión de estos documentos contribuye a identificar parámetros críticos para el análisis estructural, tales como puntos de conexión para la base de la grúa, áreas de carga máxima y características específicas de la cubierta.

Además, la documentación técnica revela detalles sobre la carga operativa prevista para la embarcación, incluidas capacidades de carga, condiciones de operación y la respuesta estructural de la embarcación ante condiciones similares. Esta comprensión es fundamental para la correcta caracterización de la estructura y la planificación de la siguiente fase del análisis.

3.2 Diseño estructural

Se detallan las consideraciones fundamentales para el diseño de la base de la grúa y el refuerzo bajo cubierta en una embarcación costera. Esta sección abarca la ubicación de la grúa, sus características específicas, y las cargas que deberá soportar, asegurando que el diseño sea adecuado tanto para las condiciones operativas como para los límites elásticos del material especificado, ASTM A 131 grado A.

El proceso de diseño incluye un análisis de las cargas aplicadas a la estructura, tanto estáticas como dinámicas. Este análisis determina las dimensiones precisas de la base de la grúa y los refuerzos necesarios para garantizar la integridad estructural. A partir de estos cálculos, se desarrollan planos que incluyen elementos adicionales como injertos, refuerzos, planchaje y estructuras de soporte, asegurando que la base de la grúa soporta las cargas previstas sin comprometer la estabilidad de la embarcación.

El cumplimiento de las normativas internacionales es una parte integral del proceso de diseño. Los cálculos estructurales se realizan de acuerdo con los parámetros establecidos por DNVGL, ABS y las normas ISO, garantizando que la base de la grúa no

solo sea funcional, sino que también cumpla con los estándares internacionales de seguridad y calidad. Este enfoque asegura que la instalación de la grúa en la embarcación costera sea conforme a los requisitos normativos, contribuyendo a la prevención de accidentes y a la mejora continua de la seguridad operacional.

Específicamente, la norma ABS (2021) "ABS Guide for Certification of Lifting Appliances" en el capítulo 2, sección 2, "Requerimientos Estructurales", establece que para aceros con un límite elástico no superior a 235 N/mm². Este criterio es fundamental para asegurar que el diseño estructural de la base de la grúa y el refuerzo bajo cubierta sea seguro y eficiente, evitando sobrecargas que podrían comprometer la integridad estructural de la embarcación.

En resumen, la sección de diseño estructural proporciona una base rigurosa para el análisis y la planificación de la base de la grúa en una embarcación costera, integrando tanto las consideraciones operativas como las normativas para garantizar una instalación segura y conforme a los estándares internacionales.

3.3 Condiciones operativas

Se aborda un análisis de las condiciones bajo las cuales la grúa operará en la embarcación costera. Este análisis garantiza que la grúa funcione de manera segura y eficiente durante sus operaciones, teniendo en cuenta el impacto de sus maniobras en la estabilidad de la embarcación.

La sección comienza con la evaluación de las condiciones operativas específicas que afectan la grúa, particularmente cuando el brazo telescópico, accionado hidráulicamente, se extiende para realizar maniobras de izaje. A medida que el brazo se extiende, las cargas que soporta, incluyendo el peso muerto y el peso pluma, afectan el centro de gravedad de la grúa. Este cambio en el centro de gravedad tiene un impacto significativo en la estabilidad de la embarcación costera, y es fundamental determinar si la embarcación mantiene su equilibrio inicial bajo estas condiciones.

El análisis considera varios factores, como las cargas dinámicas y estáticas que la grúa aplicará a la estructura de la embarcación durante el izaje. Estas cargas varían con la extensión del brazo telescópico y afectan la distribución del peso en la cubierta. Se evalúa cómo estas variaciones impactan el centro de gravedad y se determina si la embarcación retorna a su equilibrio inicial después de que la grúa complete la maniobra.

Además, se examina la influencia de las condiciones operativas en la estabilidad general de la embarcación. Esto incluye la evaluación de los límites operacionales seguros para el brazo hidráulico, considerando factores como la extensión máxima del brazo, el ángulo de operación y las cargas máximas permitidas. El objetivo es establecer valores permisibles para un rango de operación que garantice la estabilidad de la embarcación durante el uso de la grúa.

Este análisis de condiciones operativas permite identificar posibles riesgos asociados con la operación de la grúa y asegurar que se cumplan los requisitos de estabilidad necesarios para la seguridad de la embarcación. Al integrar estos factores en el diseño y la planificación, se garantiza que la grúa opere de manera efectiva sin comprometer la estabilidad y seguridad de la embarcación costera.

3.4 Simulación numérica

Se describe el análisis utilizando técnicas de modelado y simulación para evaluar el comportamiento estructural de la base de la grúa en la embarcación costera. Esta sección se enfoca en la integración de consideraciones técnicas fundamentales, como las uniones soldadas, la elasticidad lineal de los materiales y las características específicas del material, junto con el modelado tridimensional (3D) y el análisis de cargas.

En primer lugar, se consideran las características de las uniones soldadas, esenciales para la integridad estructural de la base de la grúa. Estas uniones deben ser modeladas con precisión para reflejar su comportamiento real bajo condiciones de carga, ya que influyen directamente en la capacidad de la estructura para soportar las fuerzas aplicadas. La elasticidad lineal del material también es un aspecto crítico, ya que el análisis

se basa en su capacidad para deformarse proporcionalmente a las cargas aplicadas, asegurando que las deformaciones y tensiones se mantengan dentro de los límites seguros.

El modelado 3D de la estructura es un paso en esta fase. Se desarrolla un modelo tridimensional de la base de la grúa y su refuerzo bajo cubierta, utilizando software especializado para capturar con precisión todas las características geométricas y estructurales. Este modelo sirve como base para la simulación numérica, permitiendo la evaluación de cómo la estructura se comporta bajo diferentes condiciones de carga.

El análisis de cargas es una parte integral de la simulación numérica. Se evalúan diversos escenarios, incluyendo el momento de elevación total máximo, el momento de elevación dinámico total máximo, así como el peso y la carga máxima que la grúa debe manejar. Estos análisis permiten determinar cómo se distribuyen las fuerzas a través de la estructura y si la base de la grúa y el refuerzo bajo cubierta soportan las cargas previstas sin comprometer su estabilidad y seguridad.

Otro aspecto clave de esta sección es la determinación del lugar óptimo para implementar la grúa. La simulación numérica ayuda a identificar la ubicación más adecuada en la cubierta de la embarcación, asegurando que la grúa opera de manera eficiente en el espacio limitado disponible. Esta ubicación debe permitir el tránsito adecuado sin obstrucciones, y facilitar la colocación de la carga sobre la cubierta de manera efectiva.

Finalmente, se adapta el diseño de la base de la grúa a las características de la estructura existente de la embarcación. Esto incluye ajustar el modelo y las simulaciones para reflejar las particularidades del entorno estructural en el que se instalará la grúa, garantizando que el diseño sea compatible con las condiciones reales y se integra sin problemas en la estructura existente.

En resumen, la sección de simulación numérica proporciona una evaluación de la base de la grúa y su refuerzo bajo cubierta, utilizando técnicas avanzadas de modelado y análisis para asegurar que el diseño cumpla con los requisitos operativos y estructurales,

optimizando la ubicación y adaptando el diseño a las características específicas de la embarcación costera.

3.5 Evaluación por método de elementos finitos de la estructura dimensionada

Se describe la aplicación del método de elementos finitos (FEM) para la evaluación de la base de la grúa y el refuerzo bajo cubierta en la embarcación costera. Esta técnica avanzada de análisis numérico permite simular con precisión el comportamiento estructural de componentes complejos y es esencial para validar y optimizar el diseño propuesto.

El proceso comienza con el desarrollo de un modelo virtual tridimensional que representa con exactitud la geometría y las propiedades materiales de la estructura. Este modelo se construye utilizando el software "Salome-Meca" y su solucionador mecánico "Code_Aster", que proporciona herramientas específicas para problemas mecánicos. El modelo tridimensional captura todos los detalles relevantes de la base de la grúa y el refuerzo, incluyendo las dimensiones exactas, las propiedades del material, y las características de las uniones estructurales.

Una vez creado el modelo, se procede a aplicar las condiciones de carga y las fuerzas esperadas en el escenario operativo. Esto incluye cargas dinámicas y el peso máximo de izaje, así como la influencia de las vibraciones generadas por las condiciones marinas. Aunque el diseño estructural inicial se basa en cálculos simplificados y buenas prácticas de ingeniería, la simulación por FEM proporciona una evaluación más rigurosa. Durante el análisis, se utilizan algoritmos avanzados para calcular las tensiones, deformaciones y respuestas dinámicas de la estructura bajo diversas condiciones de carga.

El análisis por FEM permite identificar zonas críticas donde las cargas podrían tener un impacto significativo, proporcionando una visión clara de la resistencia de la estructura en condiciones límite. Estos resultados son fundamentales para determinar si el diseño cumple con los requisitos de seguridad y operatividad. Se generan mapas de tensiones y

deformaciones que destacan áreas donde ocurrían fallos potenciales, permitiendo realizar ajustes en el diseño para mejorar la resistencia y estabilidad de la base de la grúa.

Tras completar la simulación, se lleva a cabo una evaluación de los resultados. Se identifican áreas de mejora y se ajustan los parámetros de diseño si es necesario, tomando decisiones informadas para optimizar el rendimiento estructural. Esta fase de análisis no solo valida el diseño, sino que también guía la fase de construcción, asegurando que la base de la grúa cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia requeridos.

En resumen, la evaluación por el método de elementos finitos proporciona una herramienta crítica para la validación y optimización del diseño de la base de la grúa en la embarcación costera. La simulación permite una comprensión profunda del comportamiento estructural, identificando posibles debilidades y facilitando la toma de decisiones para asegurar una operación segura y efectiva de la grúa en condiciones reales.

CAPÍTULO IV

Resultados, contrastación de hipótesis y discusión de resultados

Este capítulo se analiza los hallazgos del estudio sobre la base de la grúa y su reforzamiento en una embarcación costera. Se presenta en detalle los resultados obtenidos en los requerimientos y especificaciones, detallando la descripción de la embarcación, las especificaciones técnicas de la grúa, y los planos y documentos de referencia utilizados. Se enfoca en el diseño estructural, incluyendo consideraciones de diseño, análisis de cargas y resultados del diseño. Evalúa las condiciones operativas de la grúa, analizando su estabilidad bajo diversas condiciones y los criterios necesarios para su operación segura. Presenta los resultados de la simulación numérica, que incluye el modelado 3D y la evaluación de la integridad estructural. Discute los resultados de la integridad estructural en diferentes posiciones operativas, con conclusiones basadas en criterios de aceptación. Resalta el aporte del trabajo de tesis, mientras que se identifican los riesgos asociados a la maniobra de la grúa en la embarcación costera.

4.1 Resultados de los requerimientos y especificaciones

4.1.1 Descripción

Se describe un análisis del diseño y características estructurales de la embarcación costera en estudio. El casco de la embarcación se caracteriza por una concepción simple y funcional, con un diseño de casco y fondo rectilíneo, complementado con codillos y un corte en sección media tipo remolcador. Esta configuración es fundamental para garantizar una navegación efectiva en diversos entornos costeros.

Tabla 3*Características principales.*

Eslora	14.000	m
Manga	4.800	m
Puntal	2.310	m
<hr/>		
Capacidad de combustible	≈665	gal
Capacidad de agua dulce	≈830	gal
<hr/>		
Tripulación	2	personas
Pasajeros	9	personas
<hr/>		
Carga máxima en cubierta (sin gente de mar)	5.000	tn
Carga máxima con un (1) o más gente de mar	1.000	tn

El material principal del casco es acero ASTM A131 grado A, conocido por su resistencia y durabilidad en condiciones marinas adversas. Los codillos, por su parte, están fabricados en acero AISI 1020, proporcionando una resistencia adicional en áreas críticas de la estructura. La elección de estos materiales responde a la necesidad de optimizar la eficiencia y estabilidad de la embarcación en entornos costeros, donde las condiciones son variables.

La categoría de diseño de la embarcación está orientada a operaciones en aguas costeras, lo que incluye bahías, estuarios, lagos y ríos. Esta embarcación está diseñada para operar en condiciones de viento que alcanza hasta una escala de 6 en la escala de Bedford y olas de hasta 2 metros de altura significativa. Su navegación se limita a distancias no mayores de 5 millas desde la costa, en zonas abrigadas o protegidas y en playas accesibles, asegurando así una operación segura y eficiente en su ámbito de uso previsto.

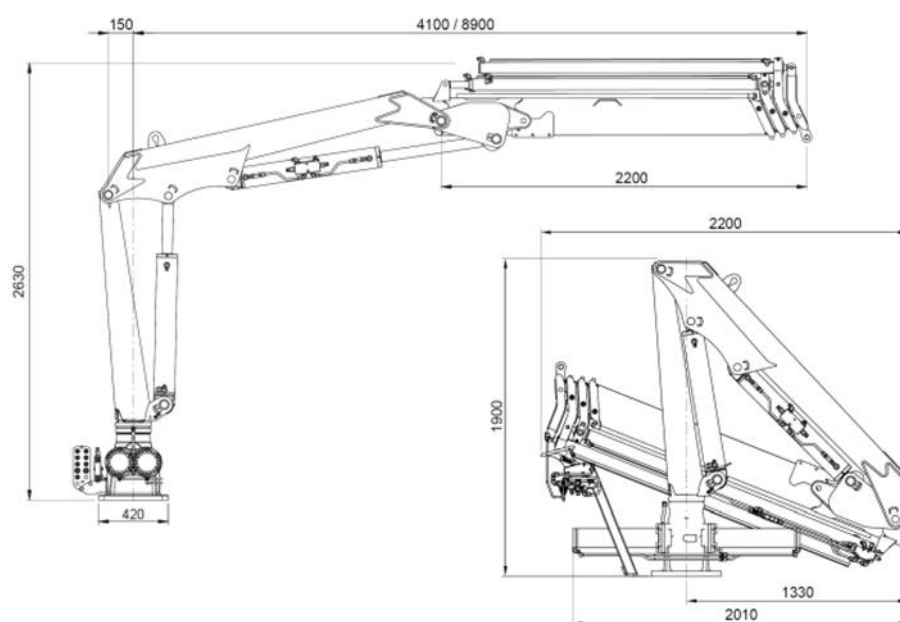
Este diseño específico garantiza que la embarcación soporta las cargas operativas y las condiciones del mar mientras mantiene una estabilidad adecuada durante sus maniobras y operaciones.

4.1.2 Especificaciones técnicas de la grúa

Se detalla as características avanzadas del modelo seleccionado de la marca GUERRA, específicamente de la serie M 65.20 A, diseñado para aplicaciones marinas. Estas grúas están elaboradas con una ingeniería de alta precisión, orientadas a operar en condiciones adversas en entornos marinos, garantizando una alta calidad y fiabilidad en su rendimiento.

Figura 9

Dimensiones de la grúa (obtenido de las especificaciones técnicas)



Nota: fuente www.iguerra.com/guerra-marine/serie-m-foldable/

Tabla 4

Datos técnicos de la grúa.

Marca de la grúa	:	Guerra Marine	
Modelo	:	M 65.20A	
Peso estándar de la grúa	:	1070	Kg
Momento de elevación total máximo (P.R +G _B .Y _B)		69.1	KN.m
Momento de elevación dinámico total máximo (Φ_2 .P.R + Φ_1 .G _B .Y _B)	:	83.7	KN.m
Peso + Carga Máxima P+G _F	:	2515	kg

El modelo M 65.20 A es una grúa plegable y articulada, ideal para operaciones en espacios reducidos sin comprometer su capacidad de elevación y alcance. Su diseño

innovador permite una gran versatilidad en el manejo de cargas, optimizando el uso del espacio a bordo de la embarcación.

Las especificaciones técnicas incluyen:

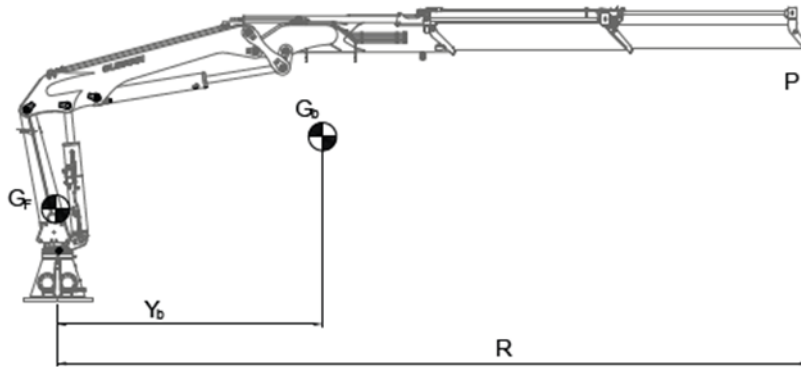
- **Diseño conforme a DIN 15018 clase H1-B3:** Asegura que la grúa cumpla con los estándares internacionales de seguridad y rendimiento para aplicaciones marinas.
- **Estructura granallada y metalizada:** La estructura es tratada para mejorar la durabilidad y resistencia a la corrosión en ambientes marinos.
- **Acabado con doble capa de imprimación y pintura:** Proporciona una protección adicional contra la corrosión y el desgaste.
- **Cilindros especiales con vástagos de Ni-Cr:** Estos cilindros están diseñados para resistir las condiciones marinas extremas, ofreciendo mayor durabilidad y rendimiento.
- **Racores de flexibles y tubos hidráulicos en INOX:** Los componentes hidráulicos están fabricados en acero inoxidable para garantizar una resistencia óptima a la corrosión.
- **Flexibles con doble capa de goma A:** Asegura mayor protección y resistencia en el sistema hidráulico.
- **Sistema de giro piñón-cremallera en baño de aceite:** Equipado con cilindros y cojinetes de bronce, este sistema proporciona un movimiento suave y duradero.
- **Válvulas de seguridad pilotadas en los cilindros:** Garantiza una operación segura al evitar sobrepresiones y fallos en el sistema.
- **Botón de parada de emergencia y limitador de carga hidráulico:** Estos elementos aseguran un control preciso y una respuesta rápida en caso de situaciones críticas.

Estas especificaciones aseguran que la grúa M 65.20 A no solo sea adecuada para las exigencias operativas del entorno marino, sino que también ofrezca un desempeño

eficiente y seguro, adaptándose a las condiciones extremas que se presentan durante su operación en la embarcación costera.

Figura 10

Disposición del brazo extendido (obtenido de las especificaciones técnicas)



Nota: fuente www.iguerra.com/guerra-marine/serie-m-foldable/

4.1.3 Planos y documentos de referencia

En esta parte se muestran los planos necesarios y documentación relevante para el desarrollo del análisis de la base de grúa sobre la cubierta y reforzamiento bajo cubierta.

4.1.3.1 Disposición general (descripción)

La embarcación costera tendrá la disposición general mostrada en la figura 11, 12 y 13, en el cual se apreciará la distribución de los compartimentados de proa a popa:

1. Cubierta de caseta:

- Mástil de las antenas y luces de navegación
- Balsa salvavidas

2. Cubierta principal:

- Caseta con ventanas amplias, consola de control, 01 asiento para el capitán, 09 asientos para gente de mar, 01 SSHH, bajada a sala de máquinas y bajada a sollado.
- Tambucho de salida de emergencia de popa.
- Grúa articulada.

- Cabrestante manual de fondeo.

Figura 11

Disposición general de embarcación costera de transporte de carga y gente de mar (vista de elevación)

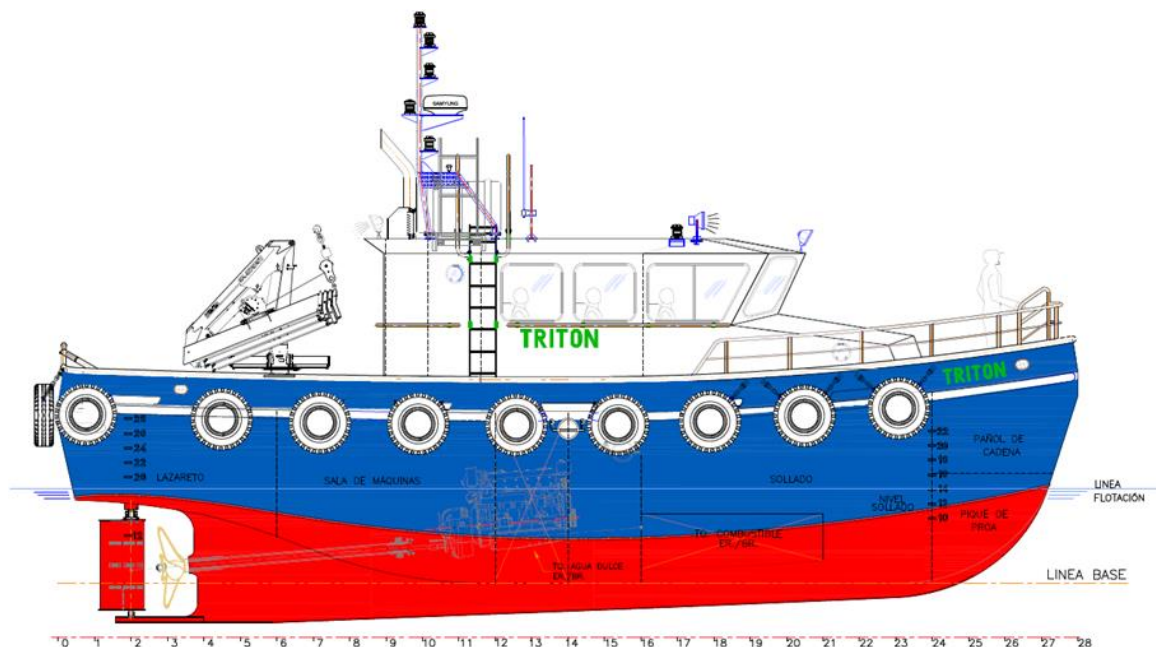
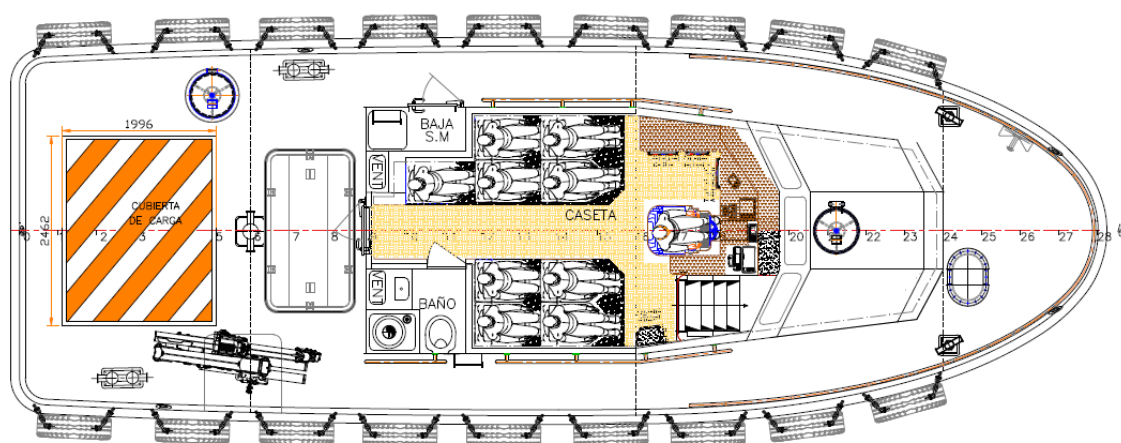


Figura 12

Disposición general de embarcación costera de transporte de carga y gente de mar (vista de planta de cubierta principal)



Nota: Las condiciones de maniobra de la grúa se realizan sin gente alrededor, solo luego de maniobra puede abordar y operar gente de mar, y el ángulo de giro es 180 grados en dirección a popa con maniobra de estribor a babor.

3. Pique de proa:

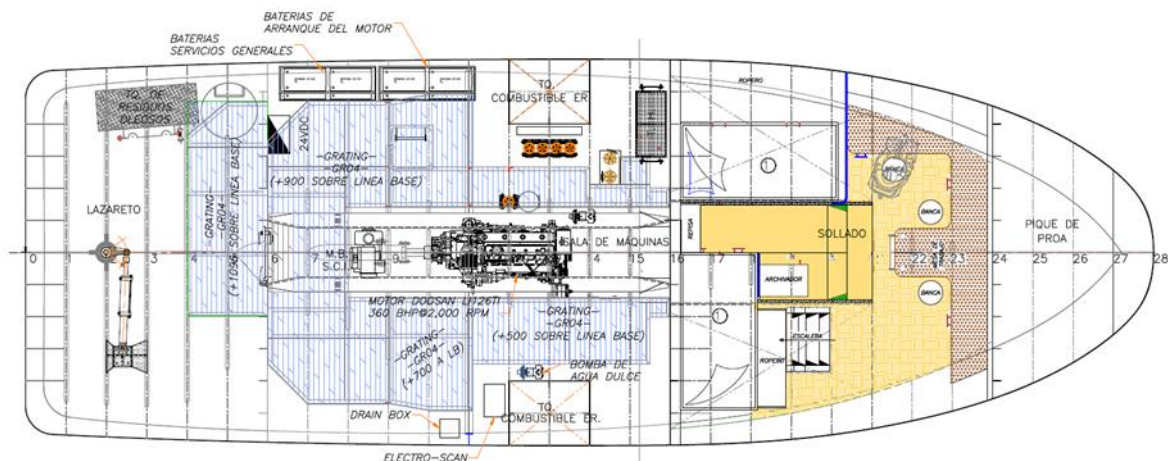
- Pañol de cadenas.

4. Sala de Máquinas:

- Motor principal.
- Caja reductora.
- Planta de tratamiento de aguas negras.
- Tanques de combustible.
- Tanques de agua dulce.
- Otros equipos varios.

Figura 13

Disposición general de embarcación costera de transporte de carga y gente de mar (vista bajo cubierta)



5. Lazareto:

- Unidad de gobierno.

6. Sollado:

- 02 camas para gente de mar.
- 01 tablero con bancas para usos múltiples (comedor)

Se observa que el área de cubierta destinada para carga está señalada con líneas naranjas, ocupando aproximadamente 5 m², lo que equivale a un 38% del área total disponible en la popa de la embarcación. Un aspecto del diseño es la ubicación de la grúa, la cual debe ser optimizada para reducir al mínimo las interrupciones causadas por

estructuras o personal a bordo. Aprovechando la longitud del brazo de la grúa, se ha decidido situarla de manera estratégica en la zona de popa, a estribor, entre las secciones C05 y M06. Esta ubicación permitirá un desarrollo operativo más eficiente y mejorará el acceso al área de carga.

4.1.3.2 Planchaje, Estructura General, Cuadernas y Mamparos

Para determinar el planchaje y las estructuras de la embarcación, se realizó el cálculo del escantillonado utilizando tres normas específicas:

- **ABS “Rules for Building and Classing Marine Vessels”,** Parte 3 “Hull Construction and Equipment”, 2024.
- **DNV GL “Rules for Classification Inland Navigation Vessels”,** Parte 03 “Structures and Equipment”, Capítulo 4, Sección 6 “Vessels Less Than 40 M in Length”, 2020.
- **ISO 12215-5 “Small Craft Hull Construction and Scantlings”,** Parte 5 “Design Pressure for Monohulls, Design Stresses, Scantlings Determination”, 2019.

Para proceder con el análisis de la base de la grúa instalada sobre la cubierta de la embarcación, es fundamental conocer la estructura existente de la misma. Por lo tanto, se verifica el cumplimiento de los valores mínimos admisibles conforme a las normas citadas. La embarcación está diseñada con un sistema de construcción transversal, lo que influye en la distribución y el soporte estructural necesario para la base de la grúa.

4.1.3.3 Espesores mínimos obtenidos mediante las reglas de clasificación

Para el cálculo de los espesores de las estructuras de la embarcación, se utilizan las directrices establecidas en las normas correspondientes:

- **DNV GL (2020),** en “Rules for Classification Inland Navigation Vessels”, Parte 03 “Structures and Equipment”, Capítulo 4, Sección 6 “Vessels Less Than 40 M in Length”, inicia el cálculo de espesores requiriendo parámetros iniciales más allá de las dimensiones del casco. Estos parámetros incluyen las características

del material, el sistema de construcción, la separación de refuerzos, las presiones, y las condiciones de navegación.

Tabla 5

Definiciones de parámetros para uso de norma DNVGL.

H (altura de ola)	1.2	m
n=	1.7	
R _{eH} =	235	N/mm ²
K=	1	(factor de material)
s=	0.5	Separación entre refuerzos principales
p=	23.74	Presión
K _M =	2.50	Coeficiente para el tipo de embarcación
K _Z =	1.27	Coeficiente para el rango de navegación
K _{MZ} =	1.40	

Nota: fuente DNVGL (2020)

Tabla 6

Cálculo de los espesores de plancha del casco según la regla DNVGL.

<u>Espesor de plancha de fondo</u>		<u>Espesor de plancha de costado</u>	
$t_1 = 1.85 + 0.03 \cdot L \cdot k^{0.5} + 3.6 \cdot s$	$t_1 = 4.05$	$t_1 = 1.68 + 0.025 \cdot L \cdot k^{0.5} + 3.6 \cdot s$	$t_1 = 3.82$
$t_2 = 1.6 \cdot s \cdot (k \cdot p)^{0.5}$	$t_2 = 3.9$	$t_2 = 1.6 \cdot s \cdot (k \cdot p)^{0.5}$	$t_2 = 3.9$
$t_3 = 1.5 \cdot s \cdot K_{MZ} \cdot (k \cdot L)^{0.5}$	$t_3 = 3.86$	$t_3 = k_1 \cdot t_0$	$t_3 = 3.45$
t = max (ti)	t_{max}=4.05	t = max (ti)	t_{max}=3.9
<u>Espesor de plancha de cubierta</u>		<u>Espesor mínimo del alama</u>	
$t_1 = 0.9 + 0.034 \cdot L \cdot k^{0.5} + 3.6 \cdot s$	$t_1 = 4.05$	$T_{fon} = 1.63 + 0.004 \cdot L \cdot k^{0.5} + 4.5 \cdot s$	$t = 3.94$
$t_2 = 1.6 \cdot s \cdot (k \cdot p)^{0.5}$	$t_2 = 3.9$	$T_{cos} = 1.63 + 0.004 \cdot L \cdot k^{0.5} + 4.5 \cdot s$	$t = 3.94$
$t_3 = 1.33 \cdot s \cdot K^{MZ} \cdot (k \cdot L)^{0.5}$	$t_3 = 3.86$	$T_{cub} = 1.63 + 0.004 \cdot L \cdot k^{0.5} + 4.5 \cdot s$	$t = 3.94$
t = max (ti)	t_{max}=4.05		

Nota: adaptado de DNVGL (2020)

- **ABS (2024)**, en “Rules for Building and Classing Marine Vessels”, Parte 3 “Hull Construction and Equipment”, se centra en el cálculo del espesor de la plancha de acero para la construcción del casco.

Tabla 7

Cálculo de los espesores de plancha del casco según la regla ABS.

BOTTON SHELL PLATING			SIDE SHELL PLATING			SIDE SHELL PLATING AT ENDS			DECK PLATING		
$t = \frac{s\sqrt{h}}{268} + 2.5$			$t = \frac{s\sqrt{h}}{268} + 2.5$			$t = 0.0455L + 0.009s$			$t = \frac{s\sqrt{h}}{254} + 1.5$		
t=	5.46	mm	t=	5.33	mm	t=	4.65	mm	t=	3.8	mm
s=	500	mm	s=	500	mm	s=	500	mm	s=	500	mm
h=	2.3	m	h=	2.3	m	L=	13.20	m	h=	1.45	m
d=	1.96	m	d=	1.96	m						

L=	13.20	m	L=	13.20	m			
VAREANGAS			CUADERNAS			BAO		
$SM = 7.8chsl^2$			$SM = 7.8chsl^2$			$SM = 7.8chsl^2$		
SM =	28.32	cm3	SM =	8.98	cm3	SM =	11.08	cm3
c =	0.915		c =	0.915		c =	0.6	
h =	1.5		h =	0.852	m	h =	1.024	m
s =	0.5	m	s =	0.5	m	s =	0.5	m
l =	2.300	m	l =	1.719	m	l =	2.150	m

Nota: adaptado de ABS (2024)

- **ISO 12215-5 (2019)**, en “Small Craft Hull Construction and Scantlings”, Parte 5 “Design Pressure for Monohulls, Design Stresses, Scantlings Determination”, se emplea para verificar factores como la carga dinámica, la distribución longitudinal y la reducción de presión de área. Además, evalúa la presión de diseño en desplazamiento. Finalmente, esta norma proporciona el espesor mínimo crítico de la plancha, que no debe ser inferior al valor obtenido.

Tabla 8

Cálculo de los espesores de plancha del casco según la regla ISO12215-5.

ESPESOR DE PLANCHA DE FONDO		ESPESOR DE PLANCHA DE COSTADO		ESPESOR DE PLANCHA DE CUBIERTA	
$t = b \times k_c \times \sqrt{\frac{p \times k_2}{1000 \times \sigma_d}}$					
t=	4.44	t=	3.98	t=	2.98
b=	500	b=	500	b=	500
kc=	0.84	Kc=	1	Kc=	1
P=	47.19	P=	26.86	P=	8.95
k2=	0.5	k2=	0.5	k2=	0.5
σ_d =	211.5	σ_d =	211.5	σ_d =	211.5

Nota: adaptado de ISO12215-5 (2019)

El espesor mínimo determinado por las normas no supera los 4 mm, excepto en el caso de las normas ABS, que suelen aplicarse a embarcaciones mayores de 24 m de eslora. Actualmente, el espesor de las planchas del casco es el siguiente:

Planchas de fondo	4.75 mm.
Planchas de costado	4.75 mm.
Planchas de cubierta	4.75 mm.
Planchas de mamparos	4.75 mm.

Planchas de caseta 4.75 mm.

Las dimensiones mínimas de las estructuras y módulos de sección equivalente son:

Varengas Plt. 125x6.4 mm.

Cuadernas Plt. 75x6.4 mm.

Baos Plt. 75x6.4 mm:

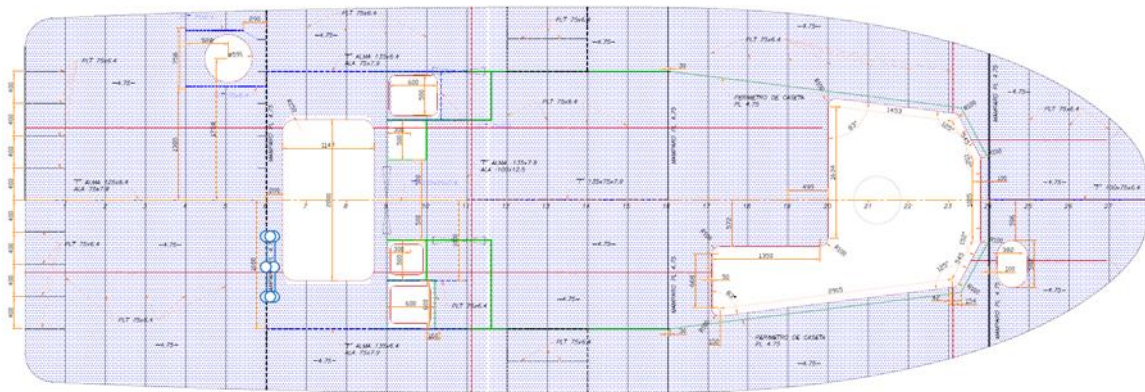
Esloras "T" alma 135x6.4 ala 75x7.9 mm.

Refuerzos verticales de mamparo Plt. 100x6.4 mm.

Las figuras 14 y 15 muestran las estructuras y refuerzos bajo la cubierta principal en su estado inicial, sin refuerzos adicionales.

Figura 14

Plano de estructura general de cubierta principal (antes de instalar la grúa)



La figura 15 la cuaderna C05 con estructura inicial y sin refuerzo en el lado de estribor, así como la estructura del mamparo M06 sin reforzar en la figura 16. Estos ejemplos se presentan para entender los cambios que se producirán debido a la instalación de la grúa, que genera esfuerzos puntuales y dinámicos sobre la cubierta, derivados tanto del peso como de la operación de la grúa.

Los cálculos realizados para determinar las dimensiones de las estructuras bajo la cubierta se basan en la premisa de que soporta una carga de 5 toneladas distribuidas uniformemente sobre la cubierta de carga. Sin embargo, al instalar una grúa, se requiere un análisis adicional para abordar las cargas locales y dinámicas que se producen durante su operación.

Figura 15

Cuaderna 05 sin reforzamiento

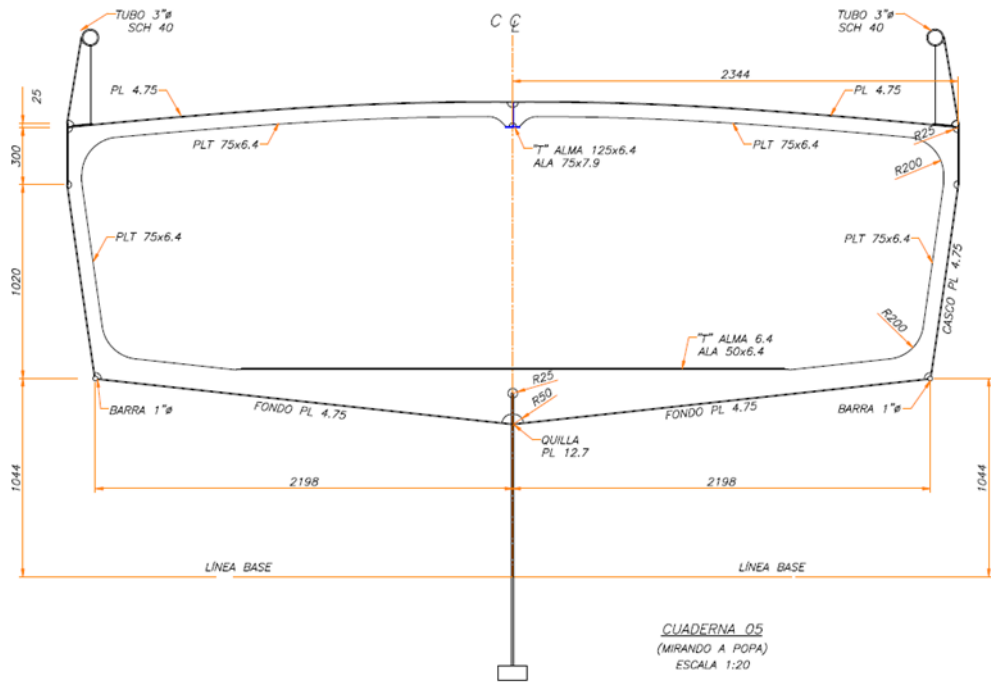
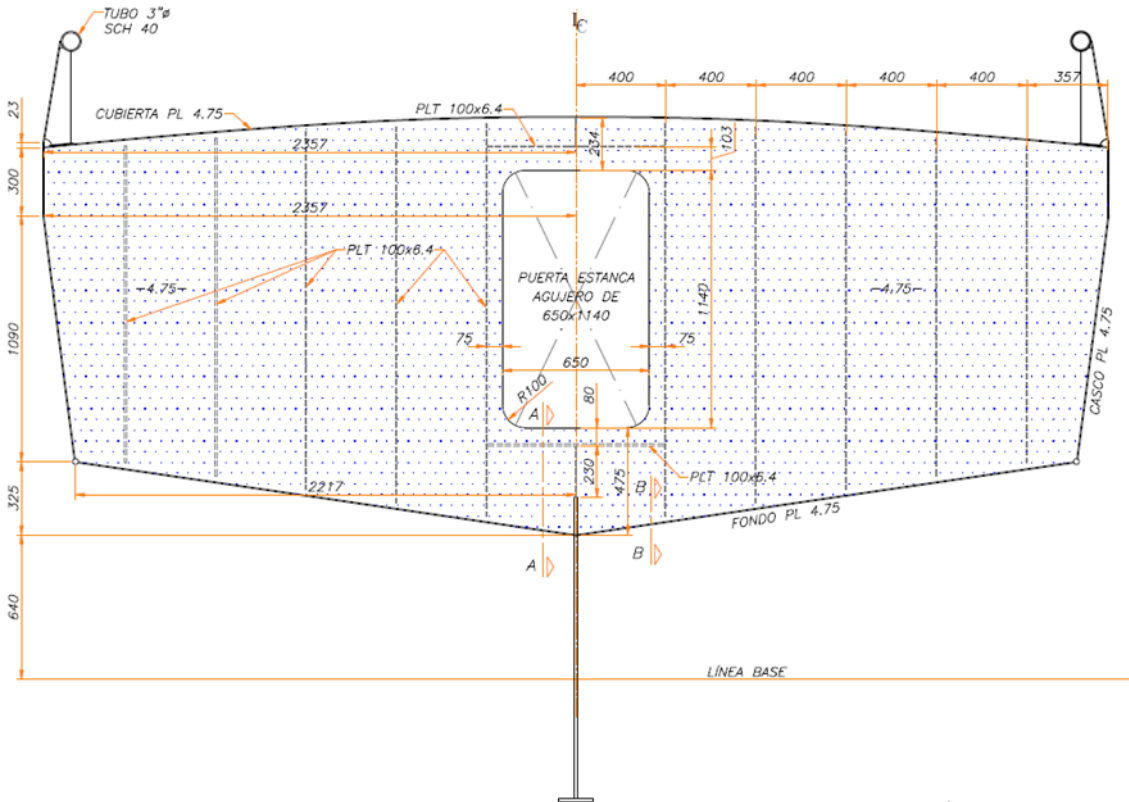


Figura 16

Mamparo M06 sin reforzamiento



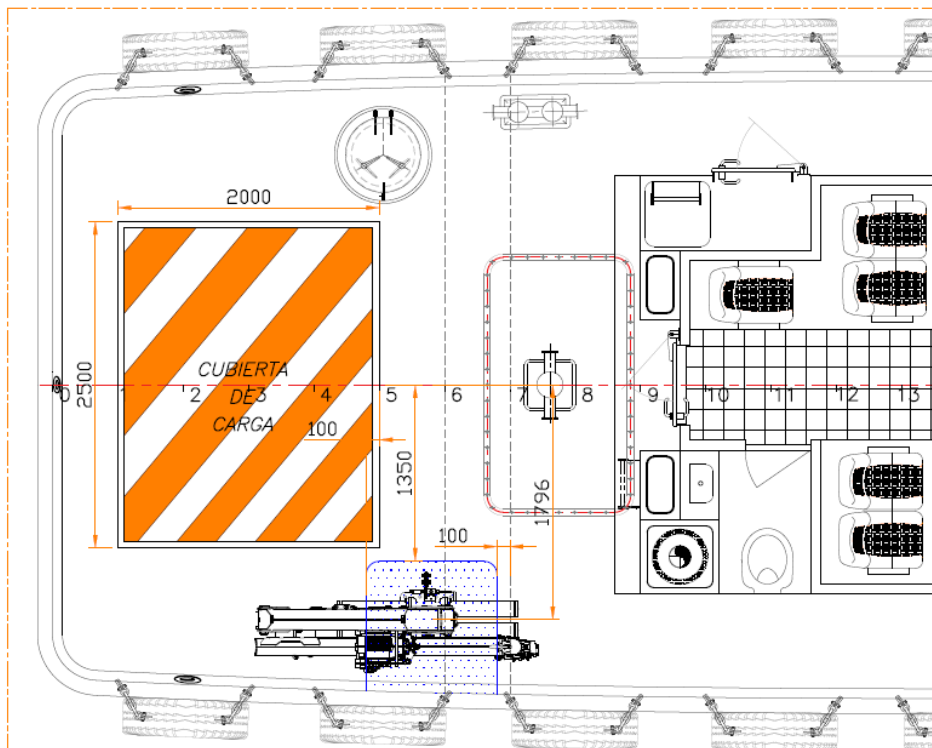
4.2 Resultados de diseño estructural

4.2.1 Consideraciones de diseño

La correcta ubicación de la grúa en la embarcación es un factor crítico que influye directamente en la integridad estructural, estabilidad, operatividad y seguridad de la embarcación. Para determinar la ubicación óptima, es necesario considerar diversos aspectos técnicos y operativos, incluyendo el peso de la grúa, la carga máxima que se manipulará, y el espacio disponible en la cubierta.

Figura 17

Ubicación de la grúa sobre la cubierta



Nota: en franjas naranjas zona de depósito de carga.

La elección del lugar de instalación debe permitir un funcionamiento eficiente de la grúa, garantizando que opera sin obstáculos y con el máximo aprovechamiento de su capacidad de extensión. En este contexto, se ha decidido ubicar la grúa en el lado de estribor, específicamente entre la cuaderna C05 y el mamparo M06. Esta ubicación es estratégica ya que se aprovecha la resistencia estructural adicional proporcionada por el

mamparo, que ofrece un soporte robusto para la base de la grúa. Además, esta ubicación permite una utilización óptima del brazo hidráulico, evitando interferencias con otras estructuras y facilitando el movimiento libre y eficiente de la grúa durante las operaciones.

Esta selección estratégica de la ubicación no solo asegura un rendimiento óptimo de la grúa, sino que también contribuye a la estabilidad general de la embarcación y a la seguridad durante la manipulación de cargas, minimizando los riesgos asociados con la instalación y operación del equipo.

4.2.2 Análisis de cargas

En esta parte se analizarán las cargas que actúan durante la operación de la grúa, con el objetivo de determinar las dimensiones adecuadas y la correcta estructuración de los refuerzos para garantizar la integridad estructural de la embarcación. Este análisis se realiza en tres etapas principales para asegurar que cada componente estructural esté debidamente dimensionado y optimizado.

Primero, se analizará la estructura de la base de la grúa. Este análisis es fundamental para determinar las dimensiones y el comportamiento de la base bajo diversas condiciones operativas, considerando tanto las cargas estáticas como las dinámicas. Se evaluará cómo estas cargas afectan la base de la grúa y se ajustarán los parámetros de diseño para asegurar que la base soporta las fuerzas actuantes sin comprometer su integridad estructural.

En segundo lugar, se llevará a cabo un análisis de la estructura de la cubierta y sus refuerzos. Este análisis tiene como objetivo determinar el dimensionamiento adecuado de los componentes de la cubierta para garantizar su óptimo comportamiento bajo las cargas impuestas por la grúa. Se considerarán las interacciones entre la cubierta, los refuerzos y la base de la grúa para asegurar que la estructura en su conjunto soporta las cargas de manera segura y eficiente.

Finalmente, se evaluarán las estructuras de soporte que actúan como contención de la carga. Este análisis se centrará en los elementos de soporte que refuerzan la

estructura de la cubierta y proporcionan estabilidad adicional a la base de la grúa. Se determinarán las dimensiones y características óptimas de estos elementos para asegurar que soporta adecuadamente las cargas producidas durante la operación de la grúa.

El objetivo de estos análisis es garantizar la integridad estructural de la base de la grúa, la cubierta y los refuerzos, así como de los elementos de soporte, frente a las cargas estáticas y dinámicas generadas durante las operaciones de la grúa. Esto es esencial para mantener la seguridad y estabilidad de la embarcación durante el uso de la grúa, asegurando un funcionamiento eficiente y seguro.

4.2.2.1 Cálculo de la estructura de la base de la grúa

Para iniciar el análisis, es necesario partir de un diseño preliminar. Para ello, se considerará el siguiente modelo con las medidas especificadas.

La base de la grúa está compuesta por cuatro planchas de dimensiones 748 x 455 x 9.5 mm, dispuestas de tal manera que formen un tronco de pirámide. En el lado más angosto, en la parte superior, se encuentra una brida con un espesor de 25.4 mm y dimensiones de 440 x 440 x 25.4 mm. La base inferior de la estructura está soldada sobre un injerto de 1000 x 1020 x 7.9 mm.

Figura 18

Modelo isométrico de la base de la grúa instalada sobre la cubierta

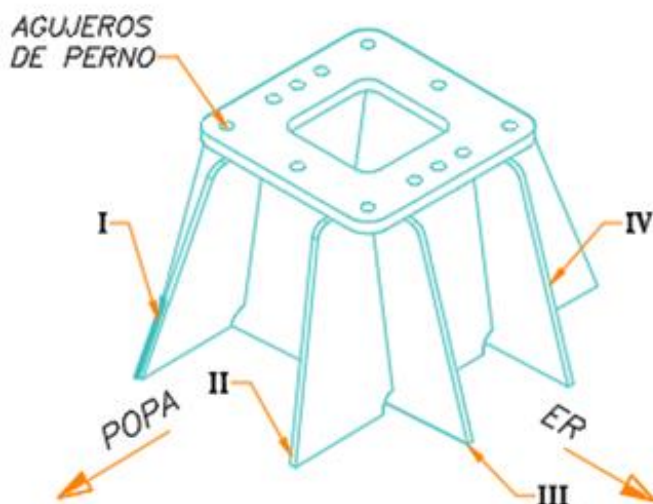
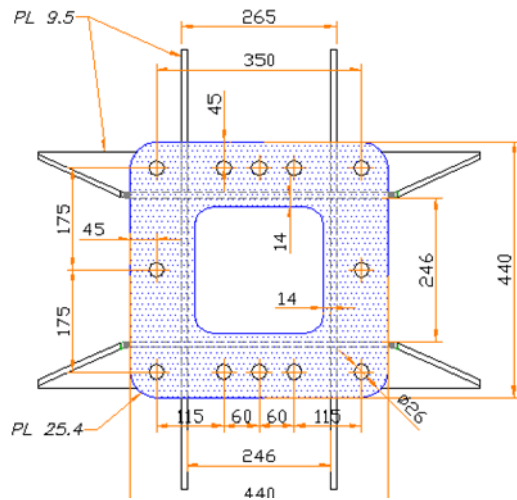


Figura 19

Vista de planta de la base de la grúa instalado sobre cubierta principal



En la figura siguiente se presenta una vista longitudinal que muestra las dimensiones de las planchas.

Figura 20

Vista longitudinal de la base de la grúa mostrando las dimensiones de las planchas instaladas para la base de la grúa

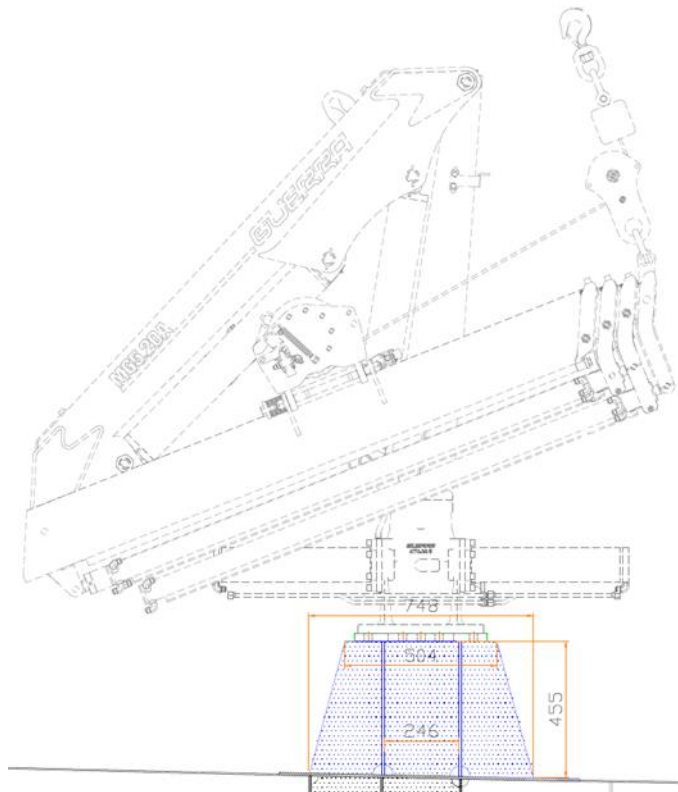


Tabla 9*Ampliación de especificaciones técnicas de la grúa.*

DESCRIPCIÓN	MEDIDA	UNIDADES
Momento de elevación total máximo (P.R +G _B .Y _B)	69.1	KN.m
Momento de elevación dinámico total máximo (Φ_2 .P.R + Φ_1 .G _B .Y _B)	83.7	KN.m
Peso + Carga Máxima P+G _F	2515	kg
ÁREA TOTAL	13300	mm ²
ÍMAXIMO MOMENTO DE INERCIA	206,449,012.50	mm ⁴
Y _{cg}	200	mm
σ	82.94	N/mm ²

Tabla 10*Momento total de inercia de la base cuadrada de la grúa.*

ESTRUCT	b	h	y	Y(cg)-y= Δy	A=b*h	Δy ² *A	bh ³ /12
LADO 1	9.50	400.00	200.00	25.00	3800.00	2375000.00	50666666.67
LADO 2	350.00	9.50	79.75	95.25	3325.00	30166270.31	25006.77
LADO 3	9.50	400.00	200.00	25.00	3800.00	2375000.00	50666666.67
LADO 4	350.00	9.50	320.25	145.25	3325.00	70149395.31	25006.77
RESULTANTE						105,065,665.63	101,383,346.88
I _{TOTAL}						206,449,012.50	

Según las especificaciones técnicas proporcionadas por la grúa, se obtiene que el límite elástico del material ASTM A 131 Grado A es de 235 N/mm². Con un límite elástico observado de 82.94 N/mm², se calcula un factor de seguridad de 2.83.

4.2.2.2 Análisis de la estructura de la cubierta

Una vez determinadas las dimensiones de la base de la grúa, se procede a establecer las dimensiones de la sobre plancha y el reforzamiento de la cubierta. Inicialmente, basándose en la experiencia y las buenas prácticas de ingeniería, se proponen las dimensiones necesarias para proceder con el análisis y verificar su cumplimiento óptimo.

Vista de planta del injerto en cubierta principal

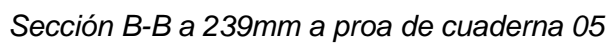
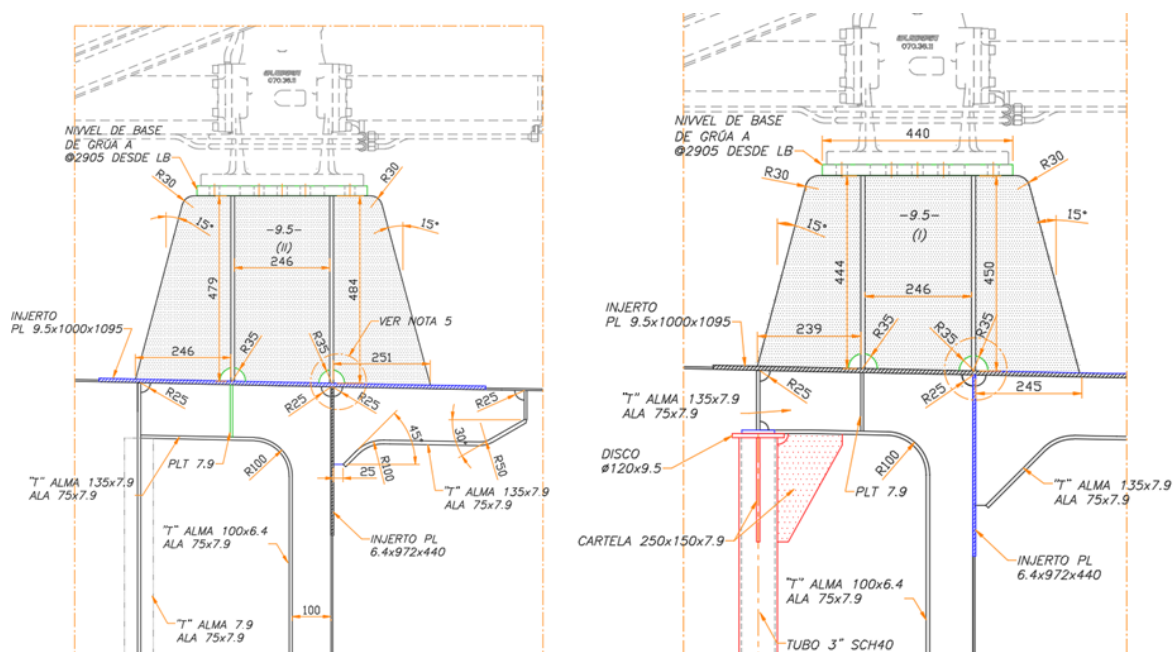


Figura 23

Izquierda sección D-D e imagen de la derecha sección E-E



Para calcular las dimensiones del inyecto y los refuerzos, se aplicará la misma metodología utilizada para la base de la grúa, siendo las mismas cargas sobre la cubierta.

Tabla 11

Especificaciones técnicas de inyecto.

DESCRIPCIÓN	MEDIDA	UNIDADES
Momento de elevación total máximo (P.R + G _B .Y _B)	69.1	KN.m
Momento de elevación dinámico total máximo (Φ ₂ .P.R + Φ ₁ .G _B .Y _B)	83.7	KN.m
Peso + Carga Máxima P+G _F	2515	kg
ÁREA TOTAL	12,818.00	mm ²
I MÁXIMO MOMENTO DE INERCIA	33,494,234.58	mm ⁴
Y _{cg}	29	mm
σ	77.04	N/mm ²

Tabla 12

Momento total de inercia de la base cuadrada de la grúa.

ESTRUCT	b	h	y	Y(cg)-y= Δy	A=b*h	Δy ² *A	bh ³ /12
Sobr. Planc	1000.00	9.50	4.75	25.31	9500.00	5370369.50	71447.92
Ref. Platin	6.4	135.00	77.00	46.94	864.00	2030158.75	1312200.00
Ref. Platin	75.00	7.90	148.45	118.39	592.50	8521184.64	3081.49
Ref. Platin	6.4	135.00	77.00	57.71	864.00	2877995.10	1312200.00
Ref. Platin	75.00	7.90	148.45	129.16	592.50	9885020.25	3081.49
A_{TOTAL}					12,413.00	30,177,129.92	3,317,104.65
					I_{TOTAL}	31,386,739.13	

A partir de los cálculos realizados, se obtienen las siguientes dimensiones de refuerzo:

- **Sobre plancha:** 9.5 x 1000 x 1020 mm.
- **Refuerzos bajo cubierta:** Perfil “T” con alma de 135 x 6.4 mm y alas de 75 x 7.9 mm.
- **Injerto de mamparo:** 6.4 x 475 x 975 mm.

El límite elástico del material ASTM A 131 Grado A es de 235 N/mm². Con un límite elástico observado de 77.04 N/mm², se determina un factor de seguridad de 2.96.

4.2.2.3 Cálculo de estructuras de soporte

A continuación, se procede a analizar los refuerzos instalados bajo cubierta para garantizar que soporta las cargas de operación.

Figura 24

Izquierda vista de la sección A-A, derecha vista de la sección C-C de injerto de cubierta principal

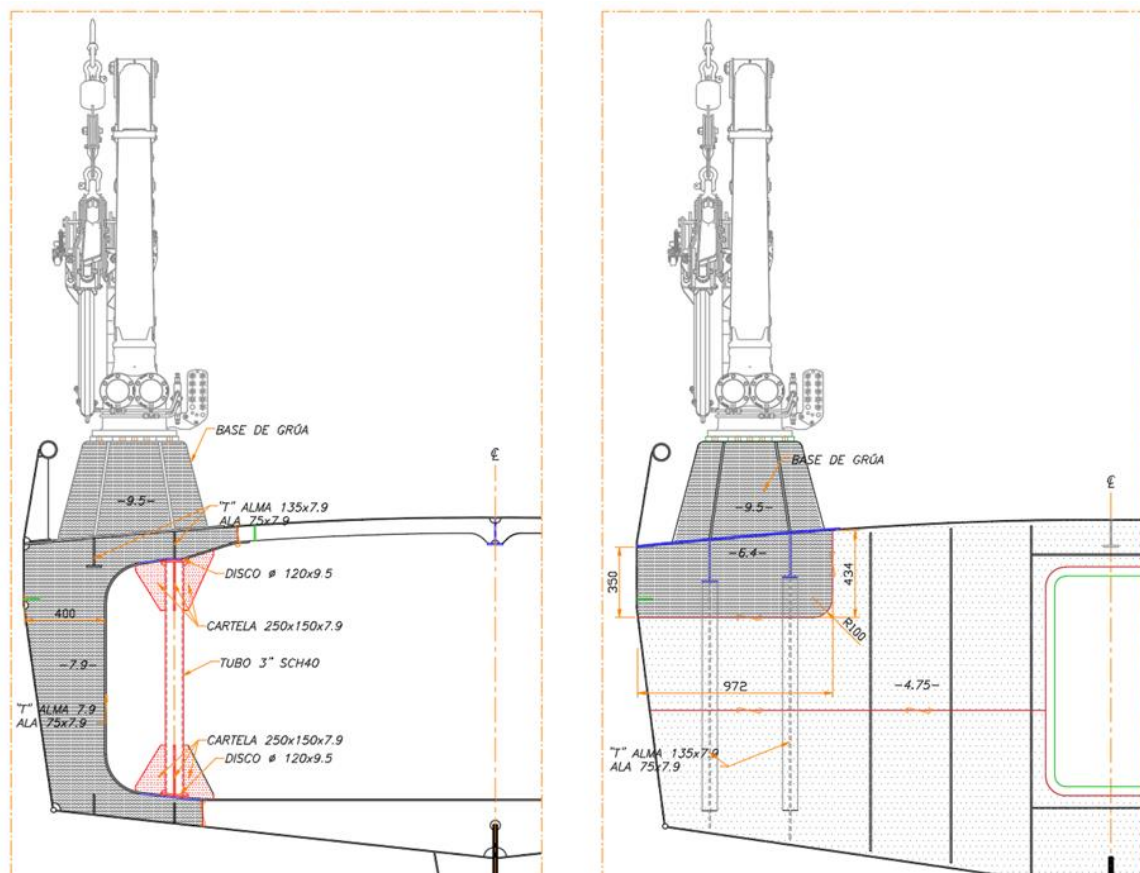


Figura 25

Izquierda vista de la sección D-D, derecha vista de la sección E-E

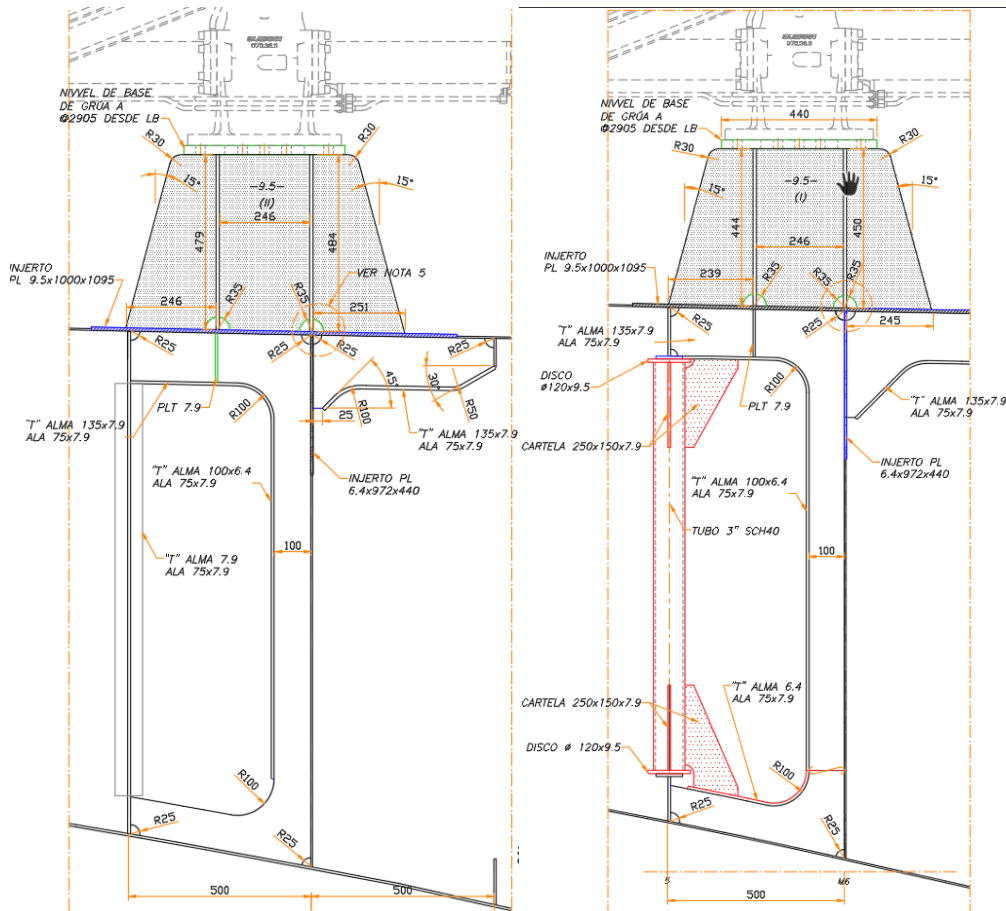


Figura 26

Refuerzo bajo cubierta, muestra refuerzo, de mamparo, cuaderna modificada y puntal

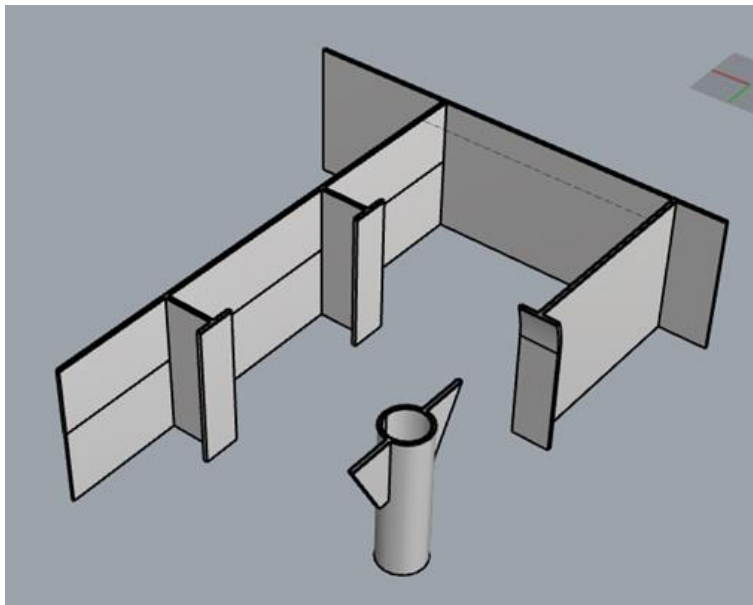


Tabla 13*Especificaciones técnicas de refuerzos bajo cubierta.*

Descripción	Medida	Unidades
Momento de elevación total máximo (P.R + G _B .Y _B)	69.1	KN.m
Momento de elevación dinámico total máximo (Φ_2 .P.R + Φ_1 .G _B .Y _B)	83.7	KN.m
Peso + Carga Máxima P+G _F	2515	kg
AAREA TOTAL	16700.80	mm ²
I MAXIMO MOMENTO DE INERCIA	430,584,120.00	mm ⁴
Y _{cg}	430.00	mm
σ	85.06	N/mm ²

A partir de los cálculos realizados, se determinan las siguientes dimensiones y valores para los refuerzos:

- **Refuerzo angular de mamparo:** Alma de 100 x 6.4 mm y alas de 75 x 7.9 mm.
- **Cuaderna modificada:** Alma de 400 x 7.9 mm y alas de 75 x 7.9 mm.
- **Puntal:** Tubo de 3" de diámetro, tipo sch 40.

El análisis de estos refuerzos muestra un factor de seguridad de 2.76, lo cual asegura que los componentes estructurales bajo cubierta están adecuadamente dimensionados para soportar las cargas operativas.

4.2.3 Resultados de diseño

Después de completar los análisis de cada componente estructural, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Factor de seguridad de la base de la grúa:** 2.83.
- **Factor de seguridad de la cubierta y refuerzos:** 2.96.
- **Factor de seguridad de las estructuras de soporte:** 2.76.

Estos factores de seguridad reflejan la capacidad de los elementos estructurales para soportar las cargas operativas y garantizar la integridad y estabilidad de la grúa y la embarcación durante su funcionamiento.

4.3 Resultados de condiciones operativas

En esta sección se analizarán las condiciones operativas durante la extensión del brazo hidráulico de la grúa para realizar maniobras de izaje. Las limitaciones

operacionales. Se evaluará su impacto en la estabilidad de la embarcación y se determinarán los valores permisibles para el rango de operación. Este análisis tiene como objetivo garantizar que la grúa funcione de manera segura y eficiente, manteniendo la estabilidad de la embarcación en diversas condiciones de operación.

4.3.1 Limitaciones operacionales

Este apartado define las limitaciones operacionales de la embarcación costera para acotar el análisis estructural enfocado en la base de la grúa y su refuerzo bajo cubierta. Las siguientes limitaciones reflejan tanto las condiciones específicas del entorno de operación como los criterios técnicos de seguridad y estabilidad aplicables según normativas internacionales.

- **Ubicación y condiciones del entorno:** La embarcación costera opera en la bahía de Caleta Tierra Colorada, en el puerto de Paita, Piura, zona que se caracteriza por aguas profundas y predominantemente calmas. Estas condiciones son óptimas para la realización de maniobras de varado y desvarado en el Astillero Andesa, garantizando un ambiente controlado para las operaciones de carga y descarga mediante grúa. Sin embargo, cualquier variación significativa en las condiciones de mar, como aumento en el oleaje o estela de otras embarcaciones, podría afectar la estabilidad durante la operación de la grúa.
- **Restricciones en condiciones de marea:** Durante períodos de marea baja, se recomienda que la operación de la grúa sea suspendida. Esta precaución se debe a la reducción de la distancia de seguridad entre el casco y el fondo marino, lo que podría comprometer la estabilidad de la embarcación, especialmente al manejar cargas pesadas. Además, las maniobras de elevación podrían verse afectadas debido al ángulo inclinado de la embarcación en estas circunstancias.

- **Condiciones para la operación segura de la grúa:** Las operaciones de la grúa pueden realizarse siempre y cuando la altura de la estela generada por otras embarcaciones en la bahía no supere los 0.3 a 0.5 metros. En caso de que las condiciones de oleaje excedan este umbral, se recomienda posponer las operaciones de la grúa para evitar movimientos no controlados que puedan comprometer la seguridad de la carga y del personal a bordo.
- **Operación en mar no calmo:** En situaciones de mar agitado o cuando la embarcación opera en aguas abiertas fuera de la bahía, sería necesario contar con estabilizadores o aletas de rolo para mitigar el movimiento excesivo de escora. Sin embargo, dado que el presente estudio se centra en la operación dentro de la bahía, donde las aguas son calmas, se considera que el correcto amarre de la embarcación al muelle es suficiente para minimizar los riesgos de escora. Esto garantiza que la operación de la grúa en condiciones estáticas y amarrada al muelle se realice de manera segura.
- **Criterio de estabilidad en condiciones de navegación:** Aunque el análisis estructural se enfoca en la operación amarrada en puerto, la estabilidad de la embarcación también ha sido evaluada bajo condiciones de navegación para asegurar el cumplimiento normativo en todas las fases de operación. Este análisis incluye la evaluación de los siguientes parámetros clave: GMt inicial (metacentro transversal), Áreas bajo la curva GZ desde 0° a 30°, 0° a 40°, y 30° a 40°, Máxima altura del brazo adrizante (GZ) a 30° o más, Ángulo en el que ocurre el máximo GZ, Abertura y altura de inundación, Escora debida a la acción del viento. Todos estos parámetros han sido clasificados bajo la categoría C de la norma **ISO 12217-1:2015**, que establece los criterios de estabilidad y flotabilidad para embarcaciones pequeñas. En este sentido, se asegura que la embarcación cumple con los requisitos de estabilidad no solo en condiciones estáticas, sino también cuando está navegando, protegiendo la integridad de la embarcación y la seguridad de su tripulación.

- **Alcance del análisis estructural:** Este análisis se limita a la porción estructural de la embarcación correspondiente a la base de la grúa y su refuerzo bajo cubierta. No se abordan los efectos que la operación de la grúa podría inducir en otros elementos estructurales de la embarcación. Para evaluar estos efectos, especialmente en condiciones de operación fuera de puerto, sería necesario realizar un análisis adicional, más profundo y utilizando simulaciones computacionales avanzadas. Este estudio futuro podría considerar los impactos de las cargas dinámicas en toda la estructura de la embarcación, tanto en condiciones de navegación como en condiciones operacionales más exigentes.

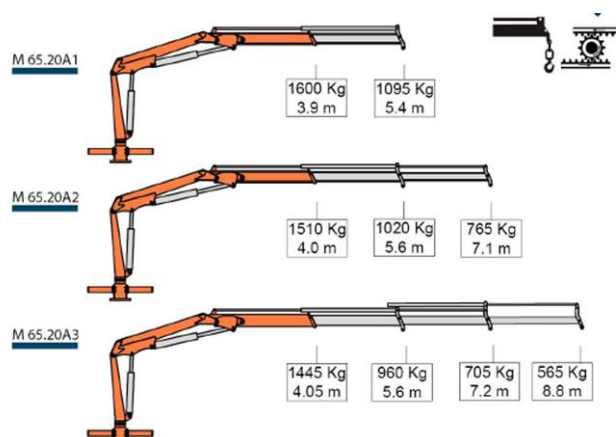
4.3.2 Condiciones operativas de la grúa

La extensión del brazo telescópico de la grúa tiene un impacto significativo en la estabilidad de la embarcación. A medida que el brazo se desplaza, la distribución de las cargas y el centro de gravedad de la grúa varían, afectando directamente la estabilidad general de la embarcación. Por ello, es esencial comprender y analizar estos cambios para garantizar una operación segura y eficiente.

En la figura siguiente se ilustran las longitudes del brazo telescópico y las capacidades de carga correspondientes a cada extensión. Esta información es para entender cómo la capacidad de carga de la grúa se ve afectada por la longitud del brazo y cómo estas variaciones influyen en la estabilidad de la embarcación.

Figura 27

Extensiones del brazo de la grúa



Asimismo, la tabla a continuación muestra la variación en la posición del centro de gravedad de la grúa a medida que el brazo telescópico se desplaza. Este análisis permite determinar cómo el movimiento del brazo afecta el equilibrio de la grúa y la embarcación en su conjunto, y es fundamental para ajustar los parámetros operativos y asegurar que la grúa funcione dentro de los límites de estabilidad establecidos.

Tabla 14

Variación de centro de gravedad de la grúa.

Condiciones	Long Brazo (m)	Centro de Gravedad Grúa (m)	Peso Cuerpo (Kg)	Peso de Pluma (Kg)
M65.20 A1	5.4	2.20	475	550
M65.20 A2	7.10	2.80	475	550
M65.20 A3	8.80	3.30	475	550

Estos datos proporcionan una visión de las condiciones operativas y son esenciales para evaluar la capacidad de la grúa para mantener la estabilidad en diferentes configuraciones de carga y extensión del brazo.

4.3.3 Estabilidad en diferentes condiciones operativas

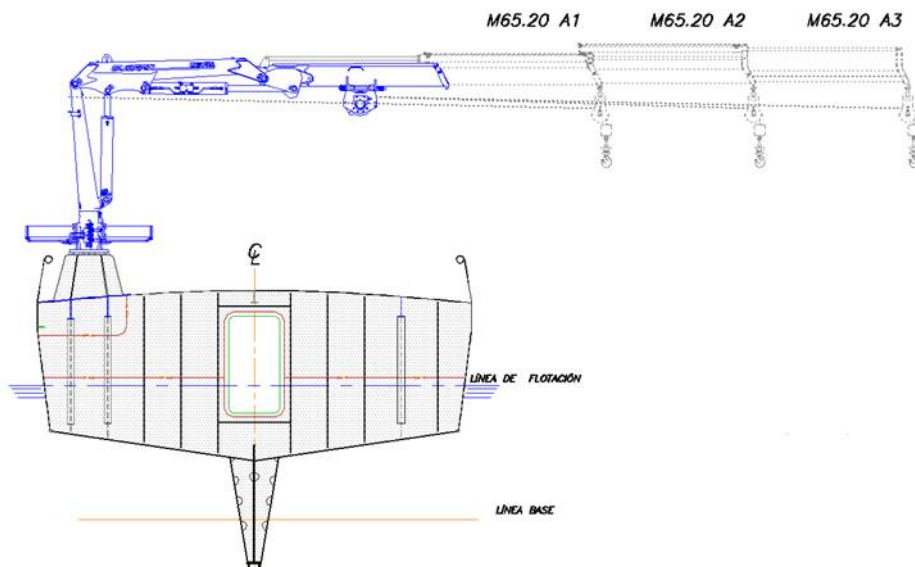
En esta sección, se analizarán dos condiciones operativas distintas para evaluar la estabilidad de la grúa bajo diferentes escenarios:

1. **Condición sin Carga en el Extremo del Brazo:** En este primer escenario, se considera la extensión del brazo telescópico sin carga en su extremo. Este análisis se centra en cómo la extensión del brazo afecta la estabilidad de la grúa y de la embarcación sin la influencia de cargas adicionales. Se examinará la variación en la posición del centro de gravedad y cómo el cambio en la longitud del brazo impacta la distribución de las fuerzas sobre la estructura de la embarcación. Este escenario atiende los efectos básicos de la extensión del brazo en la estabilidad operativa.
2. **Condición con Carga en el Extremo del Brazo:** El segundo escenario contempla la extensión del brazo telescópico con una carga aplicada en su extremo. Se evaluará cómo la adición de una carga afecta la estabilidad general

de la grúa y de la embarcación. Este análisis incluye la evaluación de las fuerzas dinámicas y estáticas generadas por la carga, así como la influencia de la carga en el centro de gravedad y en la distribución de las fuerzas sobre la estructura. Se analizarán las posibles deformaciones y los efectos sobre la capacidad de la grúa para mantener la estabilidad en estas condiciones operativas.

Figura 28

Vista transversal, muestra el desplazamiento del brazo



Estos análisis permitirán identificar posibles riesgos y ajustes necesarios para mantener la estabilidad de la grúa en diferentes situaciones operativas. La información obtenida es fundamental para optimizar el diseño de la grúa y garantizar una operación segura y eficiente en condiciones variables.

4.3.3.1 Equilibrio inicial de la embarcación

Para evaluar el equilibrio inicial de la embarcación, es fundamental considerar la disposición de las cargas y el centro de gravedad en el estado en que el brazo de la grúa se encuentra retraído en posición de descanso. En esta condición inicial, se realiza un análisis de las coordenadas del centro de gravedad y los pesos abordo, con el objetivo de establecer una referencia de estabilidad antes de cualquier operación adicional.

A continuación, se presenta una tabla que detalla las coordenadas del centro de gravedad y los pesos distribuidos a bordo de la embarcación. Estos datos son esenciales

para comprender el estado de equilibrio de la embarcación en su configuración inicial, antes de la extensión del brazo de la grúa y la aplicación de cargas adicionales.

Tabla 15

Coordenadas de centro de gravedad de la embarcación costera.

Descripción	Peso (t)	L.C.G. (m)	T.C.G. (m)	V.C.G. (m)
Peso en Rosca	27.973	7.101	0.013	1.698
Tripulación	0.170	7.100	0.000	3.600
Tq. Agua dulce al 100%	3.148	9.118	0.000	0.689
Tq. Combustibles al 100%	2.115	6.499	0.000	1.462
Tq. Hidráulico al 80%	0.204	7.671	-0.098	1.771
Tq. Residuos oleosos al 10%	0.041	1.509	-1.750	1.497
Condición de carga total:	33.650	7.249	0.008	1.599

El análisis del equilibrio inicial proporcionará una base para comparar los efectos de la extensión del brazo y la carga adicional en la estabilidad de la embarcación, permitiendo realizar ajustes precisos para mantener un nivel óptimo de seguridad y rendimiento operativo.

4.3.3.2 Equilibrio en las diferentes longitudes de operación sin carga en extremo del brazo de la grúa

En esta sección se examina el impacto de la extensión del brazo de la grúa en el equilibrio de la embarcación, específicamente cuando no se encuentra carga en el extremo del brazo. En la tabla, se presentan las coordenadas del centro de gravedad para diferentes longitudes de extensión del brazo de la grúa. Estos datos permiten observar cómo el centro de gravedad se desplaza a medida que se extiende el brazo, afectando así el equilibrio general de la embarcación.

Tabla 16

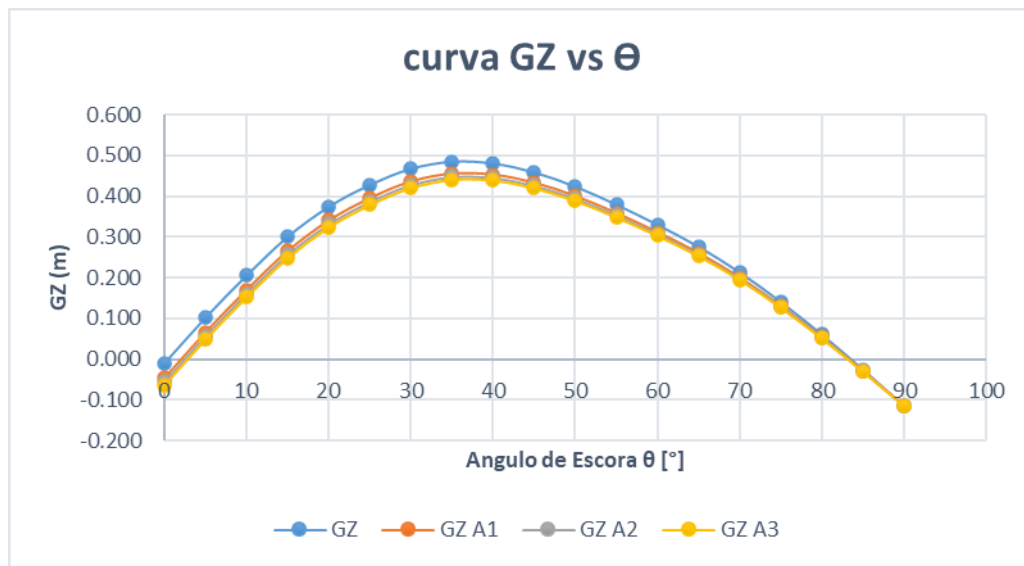
Variación de centro de gravedad de la grúa respecto expansión de brazo.

Condiciones	Long Brazo (m)	Centro de Gravedad Grúa (m)	Δ GG' de la Embarcación (m)
M65.20 A1	5.4	2.20	0.036
M65.20 A2	7.10	2.80	0.046
M65.20 A3	8.80	3.30	0.054

Con base en esta información, se ha generado un gráfico que muestra la curva de estabilidad corregida por el desplazamiento del centro de gravedad. El análisis del gráfico revela un efecto negativo sobre la estabilidad de la embarcación a medida que el brazo hidráulico se extiende. Este efecto se manifiesta en una pérdida de área bajo la curva de estabilidad, lo cual indica una reducción en la capacidad de la embarcación para mantener su equilibrio.

Figura 29

Curva de estabilidad corregida por el desplazamiento del centro de gravedad



Este análisis es para entender cómo las variaciones en la extensión del brazo afectan la estabilidad general de la embarcación y para tomar las medidas necesarias para mitigar los efectos adversos durante las operaciones. Se debe considerar este impacto al planificar las maniobras y al diseñar estrategias para asegurar la estabilidad óptima en todas las condiciones de operación.

4.3.3.3 Equilibrio en las diferentes longitudes de operación con carga en extremo del brazo de la grúa

En esta sección, se analiza el impacto de la extensión del brazo de la grúa cuando se encuentra cargado en el extremo. La siguiente tabla ilustra cómo varía la posición del centro de gravedad de la embarcación a medida que el brazo hidráulico se extiende con una carga aplicada. A medida que el brazo se desplaza hacia afuera con la carga, se

observa un desplazamiento en el centro de gravedad de la embarcación, afectando sus características hidrostáticas.

La tabla presenta las coordenadas del centro de gravedad para diferentes longitudes de extensión del brazo de la grúa, considerando diferentes cargas en el extremo. Cada longitud de brazo está asociada a una carga máxima específica, la cual influye en el desplazamiento del centro de gravedad y, por ende, en la estabilidad de la embarcación.

Tabla 17

Coordenadas de centro de gravedad de la embarcación costera con expansión de brazo.

Descripción	Peso (t)	L.C.G. (m)	T.C.G. (m)	V.C.G. (m)
Condición de la embarcación para m65.20 A1	33.65	7.249	-0.028	1.599
Condición de la embarcación para m65.20 A2	33.65	7.249	-0.038	1.599
Condición de la embarcación para m65.20 A3	33.65	7.249	-0.046	1.599

El análisis de estas condiciones permite evaluar cómo la carga aplicada al extremo del brazo afecta la estabilidad de la embarcación en función de la longitud del brazo. A medida que se añade carga, el centro de gravedad se desplaza significativamente, lo que reduce la estabilidad general del buque.

Este análisis es esencial para garantizar que la embarcación maneja de manera segura la carga mientras opera en diferentes longitudes de extensión del brazo. La evaluación de la capacidad de carga máxima y su impacto en la estabilidad proporciona información crítica para la planificación y ejecución segura de las maniobras de izaje.

Tabla 18

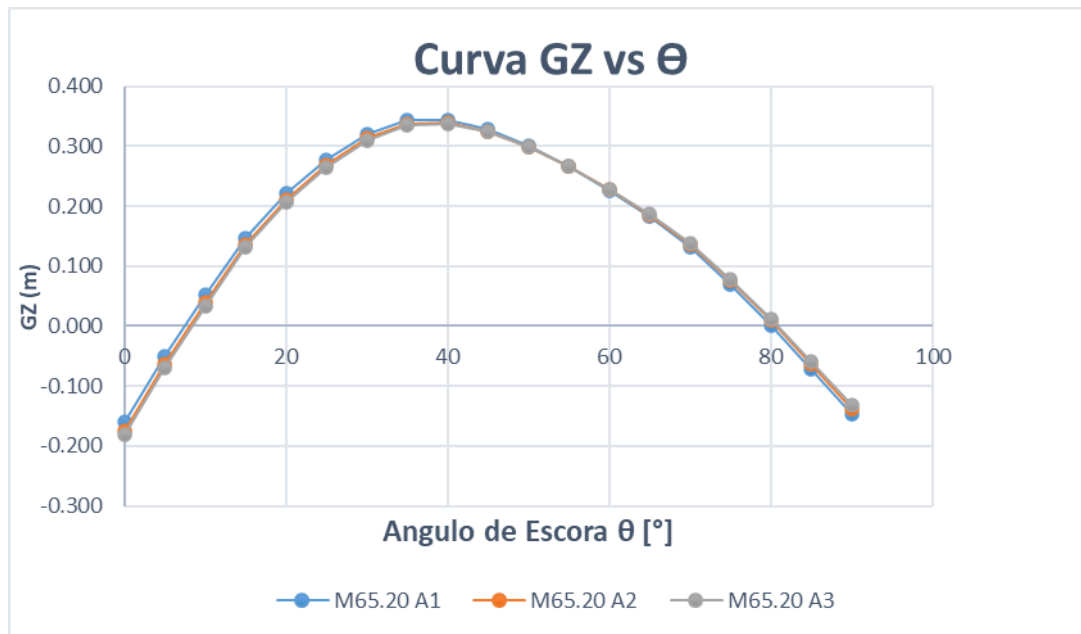
Variación de centro de gravedad de la grúa respecto carga máxima.

Condiciones	Long Brazo (m)	Centro De Gravedad Grúa (m)	Carga Máxima (Kg)
M65.20 A1	5.4	2.20	1095
M65.20 A2	7.10	2.80	765
M65.20 A3	8.80	3.30	565

En la figura 30 se muestra la curva de estabilidad corregida debido al aumento de peso de izaje.

Figura 30

Curva de estabilidad corregida por el desplazamiento del centro de gravedad para las diferentes condiciones del brazo con carga en su extremo



Para este caso de análisis arroja las siguientes condiciones de estabilidad:

Tabla 19

Condiciones de estabilidad de la embarcación costera con expansión de brazo.

Descripción	Long Brazo (m)	Centro de Gravedad Grúa (m)	Peso (t)	L.C.G. (m)	T.C.G. (m)	V.C.G. (m)
M65.20 A1	5.4	2.20	34.745	7.110	-0.1400	1.632
M65.20 A2	7.10	2.80	34.415	7.151	-0.1550	1.622
M65.20 A3	8.80	3.30	34.215	7.176	-0.1610	1.617

De cual se observa que, para las condiciones del brazo con carga en el extremo, se tiene una curva similar.

4.3.4 Criterio de estabilidad para todas las condiciones operativas

De acuerdo con la categoría de diseño establecida para la embarcación, que está clasificada bajo la categoría C según la norma ISO 12217-1:2015 (Small Craft - Stability and Buoyancy Assessment and Categorization), se deben cumplir criterios específicos de estabilidad para garantizar un desempeño seguro en diversas condiciones operativas. La categoría C está destinada a embarcaciones que operan en aguas costeras y debe

garantizar una estabilidad adecuada en condiciones que incluyen olas de hasta 2 metros y vientos de hasta una escala de 6 en la escala de Beaufort.

Tabla 20

Criterios de estabilidad de categoría C por norma ISO 12217-1:2015.

Criterio	Valor de Referencia	Unidades
GMt inicial	0.450	m
Área 0° a 30°	0.055	m.rad
Área 0° a 40°	0.090	m.rad
Área 30° a 40°	0.030	m.rad
Max GZ a 30° o más.	0.20	m
Angulo para el máximo GZ.	25	°
Abertura de inundación	0.20	m
Altura de inundación	0.72	m
Escora debido a la acción del viento	5.00	°

4.3.5 Resultados

Para las condiciones de la extensión del brazo sin carga, se tienen los siguientes resultados.

Tabla 21

Condiciones de estabilidad para el brazo extendido sin carga en el extremo.

Criterio	Valor de Referencia	Unidades	Valor inicial	Valor obtenido M65.20 A1	Valor obtenido M65.20 A2	Valor obtenido M65.20 A3
GMt inicial	0.450	m	1.338	1.301	1.291	1.282
Área 0° a 30°	0.055	m.rad	0.144	0.126	0.122	0.118
Área 0° a 40°	0.090	m.rad	0.228	0.205	0.199	0.194
Área 30° a 40°	0.030	m.rad	0.084	0.079	0.077	0.076
Max GZ a 30° o más.	0.20	m	0.486	0.457	0.449	0.442
Angulo para el máximo GZ.	25	°	36.3	36.68	36.95	36.96
Abertura de inundación	0.20	m	0.94	0.94	0.94	0.94
Altura de inundación	0.72	m	1.54	1.54	1.54	1.54
Escora debido a la acción del viento	5.00	°	0.3	-1.2	-1.6	-1.9

De la tabla anterior se deduce que, bajo todas las condiciones analizadas para las diferentes longitudes del brazo de la grúa, la embarcación cumple con los criterios de aceptación recomendados en términos de estabilidad.

Para las condiciones de la extensión del brazo con carga, se tienen los siguientes resultados.

Tabla 22

Condiciones de estabilidad para el brazo extendido con carga en el extremo.

Criterio	Valor de Referencia	Unidades	Valor obtenido M65.20 A1	Valor obtenido M65.20 A2	Valor obtenido M65.20 A3
GMt inicial	0.450	m	1.268	1.268	1.264
Área 0° a 30°	0.055	m.rad	0.074	0.070	0.069
Área 0° a 40°	0.090	m.rad	0.134	0.128	0.126
Área 30° a 40°	0.030	m.rad	0.059	0.058	0.058
Max GZ a 30° o más.	0.20	m	0.346	0.340	0.339
Angulo para el máximo GZ.	25	°	38.04	38.38	38.47
Abertura de inundación	0.20	m	0.91	0.9	0.89
Altura de inundación	0.72	m	1.39	1.37	1.35
Escora debido a la acción del viento	5.00	°	-6	-6.7	-6.9

De la tabla 22, se observa que, en ciertas condiciones de operación, especialmente en lo que respecta al ángulo de escora bajo la influencia del viento, los valores obtenidos superan los límites recomendados por la normativa. En consecuencia, es imperativo tomar medidas para mitigar estos efectos, tales como reducir la carga o ajustar el momento generado por la carga en la embarcación. Estas acciones son necesarias para garantizar que la estabilidad de la embarcación se mantenga dentro de los márgenes seguros y recomendados durante las operaciones de carga y manipulación con la grúa.

4.4 Resultados de la simulación numérica

4.4.1 Consideraciones generales

a) Uniones Soldadas

Todas las uniones soldadas adyacentes a la bita de remolque se han realizado mediante soldaduras continuas, ya sea de tipo a tope con penetración completa o de filete doble continuo. Estas soldaduras están diseñadas para proporcionar una resistencia superior a la del material base. Por esta razón, en el presente análisis se asume que las soldaduras actúan como una estructura sólida completamente continua, y no se considera la posibilidad de falla en estas uniones.

b) Elasticidad Lineal

El análisis por elementos finitos considera que los materiales se comportan de manera elástica y lineal durante la simulación. En este análisis, no se contemplan deformaciones permanentes que excedan el límite de fluencia o el límite elástico de los materiales. Para el acero ASTM A 131 grado A, el límite elástico es de 235 N/mm², mientras que para el tubo de acero ASTM A 53 grado B, el límite es de 240 N/mm².

c) Material

El material utilizado en el estudio es el acero ASTM A 131 grado A y tubo de acero ASTM A 53 grado B, cuyas propiedades mecánicas son las siguientes:

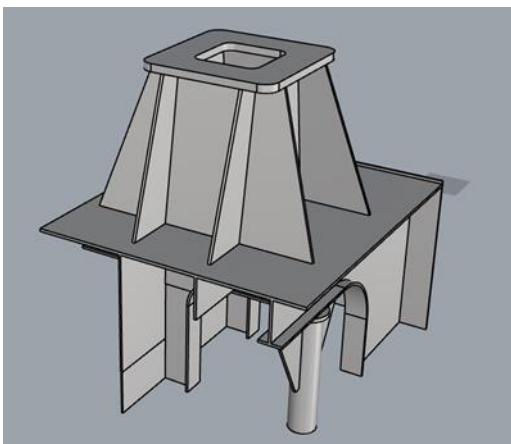
Módulo de elasticidad	200 kN/mm ²
Relación de Poisson	0.3
Límite elástico A131 A	235 N/mm ²
Límite elástico A53 B	240 N/mm ²

4.4.2 Modelado del diseño 3D

Del diseño y análisis inicial, se procede a estructurar el modelo 3D para realizar el análisis FEM.

Figura 31

Base de grúa y reforzamiento bajo cubierta en 3D



Para el análisis de cargas será utilizada la información referencial de las cargas aplicadas en las especificaciones técnicas de la grúa en la tabla 12.

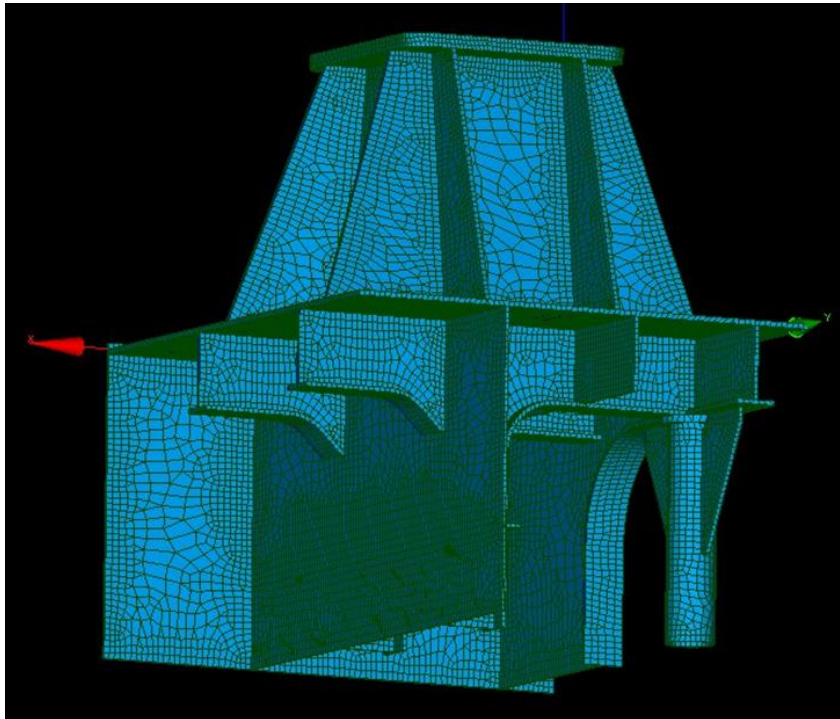
4.5 Resultados de la integridad estructural

El modelo tridimensional (3D), mostrado en la figura 32, ofrece una representación virtual precisa de la estructura, permitiendo una simulación de su comportamiento. La implementación del Método de los Elementos Finitos (FEM) proporciona una herramienta eficaz para evaluar la respuesta estructural de la base de la grúa bajo cargas máximas de operación.

Al aplicar la malla al modelo tridimensional, el sólido se divide en múltiples grupos de pequeños elementos geométricos, facilitando la aplicación del FEM. Este proceso se realiza considerando la capacidad máxima de la grúa, identificada como Guerra M 65.20A, con un momento de elevación dinámico total máximo de 83.7 kN·m y un peso combinado de la grúa y la carga máxima de 2515 kg.

Figura 32

Malla de la sección de análisis de la base de grúa y reforzamiento bajo cubierta



El modelo tridimensional generado incluye 243,590 elementos geométricos debido a la creación de la malla. El análisis se centra en un área de 1 metro x 1 metro en la cubierta y 1 metro x 1 metro en el casco, con una separación de cuadernas de 0.5 metros, lo que

limita las condiciones de contorno del análisis al considerar las proximidades de las cuadernas como empotramientos.

Durante el análisis FEM, se aplicaron las cargas máximas de operación a la estructura modelada, replicando las condiciones más exigentes que la grúa podría enfrentar en su funcionamiento habitual. Este enfoque asegura que el análisis sea representativo, considerando tanto las cargas estáticas como dinámicas.

Los resultados obtenidos del análisis FEM proporcionan información sobre la distribución de tensiones, deformaciones y otros parámetros en toda la estructura. Esta información es para evaluar la capacidad de la base de la grúa y su refuerzo bajo cubierta, asegurando que soporta las condiciones operativas sin comprometer la seguridad y la integridad estructural.

El software empleado para este análisis, "Salome-Meca" y "Code_Aster", se seleccionó por su eficacia probada en la simulación de problemas estructurales complejos. La robustez de estos programas garantiza resultados fiables y precisos, fundamentales para tomar decisiones informadas en el diseño y la implementación de la estructura de la grúa en la embarcación costera.

4.5.1 Resultado de grúa operando hacia estribor

Las gráficas de las figuras 33 y 34 ilustran la distribución de los esfuerzos de Von Mises en la estructura de la embarcación costera.

Las gráficas revelan que, en general, los esfuerzos se mantienen por debajo de los 60 N/mm², lo cual sugiere que la estructura de la embarcación presenta una resistencia adecuada en la mayoría de las áreas evaluadas. Este resultado indica que la estructura está diseñada para soportar las cargas operativas de manera eficiente y segura.

No obstante, se han identificado algunas zonas puntuales donde los valores de esfuerzo superan los 60 N/mm². Estas áreas, que se encuentran principalmente en regiones asociadas a condiciones de contorno específicas, requieren un análisis detallado. Se procederá a examinar estas zonas con mayor profundidad en etapas posteriores del

estudio para determinar si es necesario realizar ajustes o refuerzos adicionales a la estructura.

Este análisis permite asegurar que la estructura de la embarcación costera soporta las cargas impuestas por la operación de la grúa sin comprometer su integridad estructural. Las conclusiones obtenidas servirán como base para la implementación de posibles mejoras y optimizaciones en el diseño, garantizando así un rendimiento seguro y eficiente durante la operación de la grúa.

Figura 33

Grúa operada hacia estribor, distribución de esfuerzos de Von Mises – lado de popa

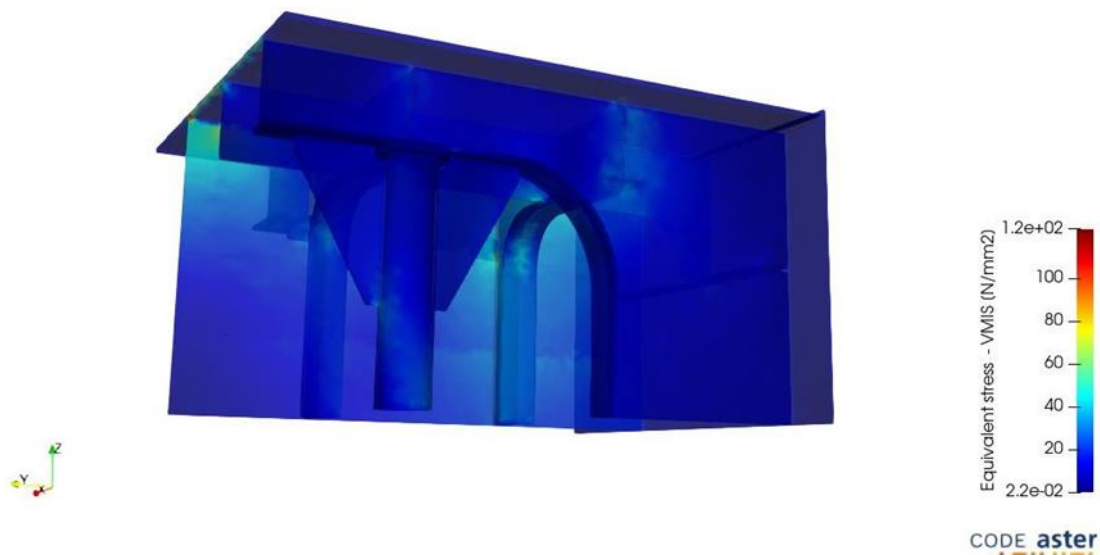
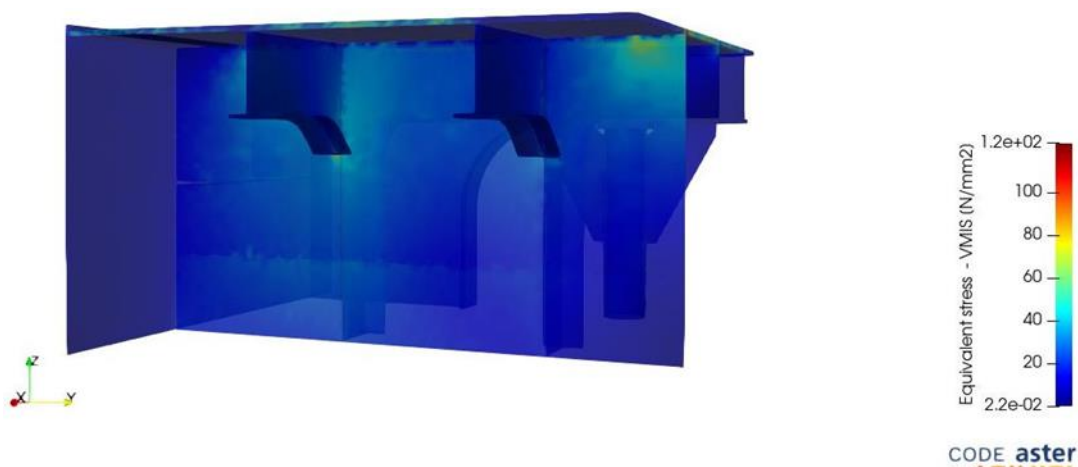


Figura 34

Grúa operada hacia estribor, distribución de esfuerzos de Von Mises – lado de proa



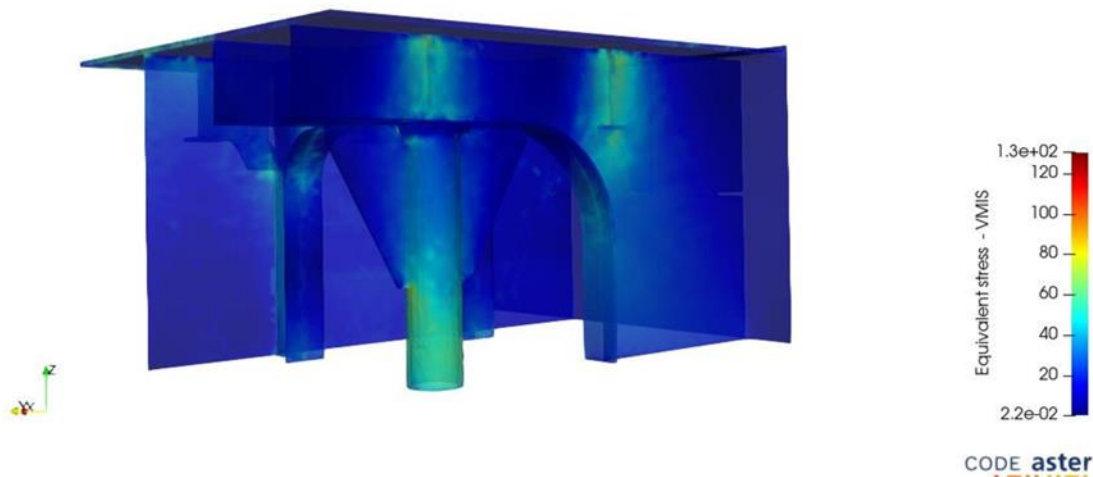
4.5.2 Resultado de grúa operando hacia popa

El análisis de las gráficas generadas revela la distribución de los esfuerzos de Von Mises a lo largo de la estructura de la embarcación costera en esta configuración operativa.

Los resultados muestran que, en general, los esfuerzos en la estructura se mantienen por debajo de los 95 N/mm². Este rango de esfuerzos indica que la estructura tiene una resistencia adecuada para soportar las cargas durante la operación de la grúa en esta dirección específica. Los valores obtenidos reflejan un comportamiento estructural robusto y una capacidad de carga satisfactoria.

Figura 35

Grúa operada hacia popa, distribución de esfuerzos de Von Mises – lado de popa



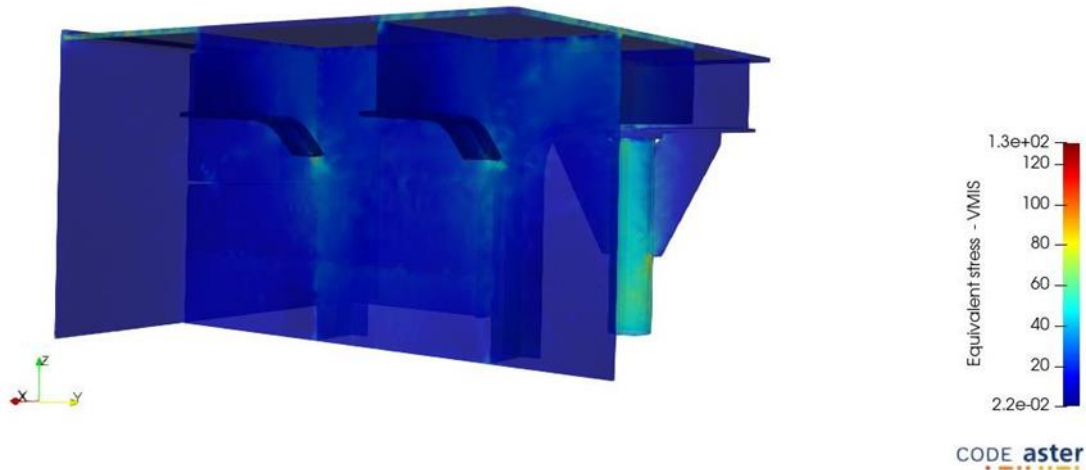
Sin embargo, al igual que en el análisis anterior, se identifican algunas zonas con esfuerzos superiores a los 95 N/mm². Estas áreas de alta tensión están asociadas principalmente a condiciones de contorno específicas de la estructura. Es importante señalar que estas zonas no afectan significativamente el análisis general, ya que las concentraciones de esfuerzo están localizadas y no comprometen la integridad estructural de la embarcación en su totalidad.

El análisis de estas zonas críticas se realizará en etapas posteriores para determinar si se requiere alguna modificación en el diseño o refuerzos adicionales. Esto

asegurar que la estructura maneja de manera eficiente las cargas operativas de la grúa sin poner en riesgo la seguridad y el rendimiento de la embarcación costera.

Figura 36

Grúa operada hacia popa, distribución de esfuerzos de Von Mises – lado de proa



4.5.3 Conclusiones de la simulación

Se presentan los resultados finales de la simulación por elementos finitos, destacando la robustez y adecuación de la estructura dimensionada. Los hallazgos más relevantes son los siguientes:

1. **Cumplimiento de los Valores Admisibles:** Los resultados de los esfuerzos de Von Mises obtenidos durante la simulación confirman que en ninguna parte de la estructura se superan los valores admisibles establecidos, de acuerdo con las recomendaciones de diversas sociedades clasificadoras y normativas específicas. Esta observación indica que la estructura es capaz de soportar las cargas máximas de operación de la grúa sin comprometer su integridad estructural ni exceder los límites de seguridad previstos. La confirmación de que los esfuerzos se mantienen dentro de los límites permisibles refuerza la fiabilidad y seguridad del diseño.
2. **Eficiencia del Reforzamiento Bajo Cubierta:** La evaluación del reforzamiento bajo cubierta, realizado para soportar las cargas máximas de operación de la grúa en todas las direcciones, ha demostrado resultados positivos. Los análisis confirman que las modificaciones y refuerzos implementados en esta área

específica cumplen su propósito de manera efectiva. Esto asegura que la estructura mantenga su estabilidad durante las operaciones críticas de la grúa, garantizando un desempeño estructural robusto y seguro.

En conclusión, la simulación por elementos finitos ha validado la adecuación del diseño estructural y las modificaciones realizadas. Los resultados obtenidos no solo corroboran la capacidad de la estructura para manejar las cargas operativas sin comprometer la seguridad, sino que también subrayan la efectividad de los refuerzos implementados. Esta evaluación integral proporciona una base sólida para la implementación y operación de la grúa, asegurando que la embarcación costera realiza sus funciones con la máxima eficacia y seguridad.

4.5.4 Criterios de aceptación

Según la guía de clasificación de la ABS, "Guide for Certification of Lifting Appliances - 2021", en el Capítulo 2, Parte 2, "Structural Requirements", Tabla 1, que se encuentra en la página 37, se especifica el coeficiente de esfuerzo admisible para la evaluación de la resistencia estructural. Este valor es fundamental para garantizar que la estructura soporta las cargas aplicadas sin comprometer su integridad.

Para la evaluación de los esfuerzos combinados, se utiliza el esfuerzo de Von Mises en el análisis de elementos finitos (FEM). Este esfuerzo debe representar el 85% del límite elástico del material utilizado en la construcción. De acuerdo con la normativa, los esfuerzos calculados no deben superar los 200 N/mm².

Adicionalmente, la norma ISO 12215-5 proporciona lineamientos esenciales para la evaluación estructural, específicamente en la construcción y dimensionamiento de las partes sometidas a altas cargas y esfuerzos. Esta norma asegura que los componentes estructurales de la embarcación, incluyendo la base de la grúa, cumplan con los requisitos de resistencia y durabilidad bajo condiciones operativas.

En resumen, los criterios de aceptación para el análisis de resistencia estructural requieren que los esfuerzos de Von Mises no excedan el 85% del límite elástico del

material, asegurando así que la estructura cumpla con los estándares de seguridad y fiabilidad establecidos por la guía de clasificación y la norma ISO 12215-5. Esta directriz garantiza que el diseño y la implementación de la estructura sean adecuados para soportar las cargas operativas sin sobrepasar los límites admisibles, promoviendo una operación segura y eficiente de la grúa.

4.6 Contrastación de hipótesis

La contrastación de la hipótesis general, respecto a los resultados obtenidos del análisis de elementos finitos (FEM), se concluye que respaldan esta hipótesis general. El análisis ha mostrado que la estructura dimensionada, incluyendo la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta, cumple con los criterios de aceptación recomendados. Los esfuerzos de Von Mises calculados no superan los valores admisibles establecidos por las normativas, lo que confirma que la estructura es capaz de soportar las cargas máximas operativas de la grúa sin comprometer su integridad. Por lo tanto, se afirma que el análisis estructural realizado garantiza la seguridad operacional de la grúa en la embarcación costera, cumpliendo con los objetivos propuestos.

Respecto a la primera hipótesis específica, se tiene que los requisitos y especificaciones técnicas necesarios para el análisis estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta son claramente definidos y documentados, asegurando una base sólida para el diseño y análisis estructural.

Respecto a la segunda hipótesis específica, se tiene que la Identificación y definición de los requisitos técnicos necesarios se realizó de manera profunda y precisa. La documentación y especificaciones técnicas fueron establecidas claramente, lo que permitió un diseño y análisis estructural fundamentado. Los resultados obtenidos confirman que los requisitos y especificaciones técnicas han sido efectivamente definidos y utilizados como base para el análisis estructural.

Respecto a la tercera hipótesis específica, se tiene que un diseño estructural adecuado y un análisis de cargas preciso, que considere las especificaciones técnicas y

los lineamientos y recomendaciones de las sociedades clasificadoras, resultará en una base de grúa y un reforzamiento bajo cubierta que soporten de manera segura las cargas operativas y dinámicas.

4.7 Aporte del trabajo tesis

El aporte distintivo de este trabajo se refleja en su capacidad para integrar conocimientos específicos de la ingeniería naval con principios mecánicos y estructurales, particularmente en el contexto marítimo costero. Aquí hay algunas áreas donde se marca la diferencia:

1. La comprensión profunda de las características específicas de las embarcaciones costeras, como su forma, estructura y comportamiento en el agua, es esencial. Un ingeniero naval aplica conocimientos especializados en diseño marítimo para optimizar la integración de la grúa sin comprometer la integridad de la embarcación.
2. El ingeniero naval está familiarizado con las normativas y estándares específicos de la industria naval, lo que garantiza que la instalación de la grúa cumpla con todas las regulaciones marítimas y con los requisitos de las sociedades clasificadoras, como DNVGL y ABS.
3. Un ingeniero naval tiene experiencia en la selección de materiales adecuados para entornos costeros, considerando la resistencia a la corrosión y la durabilidad.
4. La capacidad para diseñar estructuras marítimas sólidas y eficientes es una competencia importante. El ingeniero naval aplica su experiencia en el diseño de estructuras que no solo cumplen con los estándares, sino que también optimizan el rendimiento en el entorno marítimo valiéndose de herramientas virtuales computacionales como la aplicación de la simulación numérica por el método de elementos finitos (FEM).

5. Por último, el ingeniero naval tiene una comprensión más profunda de cómo la grúa afecta la dinámica general de la embarcación.

4.8 Riesgos en la maniobra de grúa en la embarcación costera

La maniobra de una grúa en operación, especialmente en muelle o acoderado a una embarcación, conlleva una serie de riesgos inherentes que deben abordarse y gestionarse de manera efectiva para garantizar la seguridad operacional. Estos riesgos varían desde factores ambientales hasta consideraciones relacionadas con el equipo y la presencia de gente de mar. A continuación, se presenta una lista de riesgos asociados a la operación de una grúa en muelle y acoderado, considerando la posibilidad de presencia de gente de mar:

1. Condiciones meteorológicas adversas:

- **Descripción:** Las operaciones marítimas están expuestas a condiciones meteorológicas cambiantes, como vientos fuertes, lluvia y olas.
- **Riesgo:** Estas condiciones pueden afectar la estabilidad de la grúa y aumentar el riesgo de accidentes durante la elevación de cargas.

2. Presencia de personal no autorizado:

- **Descripción:** Acceso no autorizado de personas a la zona de operación de la grúa, de carga y descarga.
- **Riesgo:** La presencia de personal no capacitado o no autorizado aumenta el riesgo de accidentes y lesiones durante la operación de la grúa.

3. Colisión con otras embarcaciones o estructuras:

- **Descripción:** La proximidad a otras embarcaciones, muelles o estructuras portuarias puede aumentar el riesgo de colisiones.

- **Riesgo:** Las colisiones pueden causar daños a la grúa, a la carga elevada y a otras estructuras cercanas, además de representar un peligro para la gente de mar.

4. Errores de comunicación:

- **Descripción:** Comunicación ineficiente entre los operadores de la grúa, el personal en tierra y otros trabajadores en la zona.
- **Riesgo:** La falta de comunicación efectiva puede resultar en malentendidos, errores en las instrucciones y, en última instancia, en accidentes.

5. Inestabilidad de la carga:

- **Descripción:** Elevación de cargas mal distribuidas o sujetas de manera inadecuada.
- **Riesgo:** La inestabilidad de la carga puede provocar su caída durante la elevación, poniendo en peligro la seguridad de la gente de mar y dañando la grúa.

6. Falla del equipo:

- **Descripción:** Fallas mecánicas o eléctricas en la grúa, incluidos los sistemas de frenos y los controles.
- **Riesgo:** Las fallas del equipo pueden resultar en la pérdida de control de la grúa y posiblemente en accidentes graves.

7. Espacio de trabajo limitado:

- **Descripción:** Espacios confinados o limitados para maniobrar la grúa.
- **Riesgo:** La falta de espacio puede dificultar la operación segura de la grúa y aumentar el riesgo de colisiones con otras estructuras.

8. Cargas sobredimensionadas:

- **Descripción:** Elevación de cargas que exceden la capacidad nominal de la grúa.

- **Riesgo:** La elevación de cargas más allá de la capacidad de la grúa puede provocar la falla del equipo y representar un peligro significativo.

Se recomienda abordar estos riesgos mediante una planificación, implementando protocolos de seguridad y la formación adecuada del personal involucrado en las operaciones de la grúa en la costa. La presencia de gente de mar debe estar estrictamente regulada y limitada a aquellos capacitados para operar de manera segura. La conciencia situacional y la comunicación efectiva son s para mitigar estos riesgos y garantizar operaciones seguras y eficientes.

CONCLUSIONES

El trabajo de investigación ha demostrado que un análisis estructural eficiente de la base de una grúa en cubierta y el refuerzo bajo cubierta utilizando el método de elementos finitos (FEM) garantiza la seguridad operacional de la grúa en una embarcación costera. Los resultados obtenidos confirmaron que la estructura diseñada es capaz de soportar las cargas máximas operativas sin comprometer su integridad. El análisis estructural reveló que los esfuerzos de Von Mises se mantuvieron dentro de los límites admisibles, cumpliendo con los criterios establecidos por las normativas y sociedades clasificadoras. La metodología aplicada y los resultados obtenidos respaldan la hipótesis general, validando así el enfoque adoptado para garantizar la seguridad y eficacia operativa de la grúa en el contexto de la embarcación costera, y cumpliendo con los objetivos propuestos en el estudio.

Se tienen las siguientes conclusiones específicas:

1. La investigación ha corroborado que los requisitos y especificaciones técnicas para el análisis estructural de la base de la grúa y el refuerzo bajo cubierta son claramente definidos y documentados. Los detalles técnicos fueron establecidos con precisión, proporcionando una base sólida para el diseño y análisis estructural. La correcta identificación y documentación de estos requisitos facilitaron un análisis preciso y eficaz, asegurando que el diseño estructural realizado cumpliera con las especificaciones necesarias. Los resultados del estudio confirmaron que la base para el diseño estructural fue adecuada, validando la hipótesis específica de que la correcta definición de los requisitos técnicos es para un análisis estructural exitoso.

2. El análisis estructural y el diseño realizado confirmaron que el diseño estructural adecuado y el análisis de cargas preciso, que consideraron las especificaciones técnicas y las recomendaciones de las sociedades clasificadoras, resultaron en una base de grúa y un refuerzo bajo cubierta capaces de soportar las cargas operativas y dinámicas. Los resultados del estudio demostraron que el diseño estructural y el análisis de cargas fueron ejecutados con exactitud, cumpliendo con los requisitos establecidos y garantizando la seguridad operativa. Esto valida la hipótesis específica de que un diseño estructural y análisis de cargas precisos son fundamentales para asegurar la capacidad de la estructura en soportar las cargas previstas.
3. La simulación numérica realizada mediante el método de elementos finitos (FEM) demostró que se cumplieron los criterios de aceptación y los factores de seguridad requeridos para la base de la grúa y el refuerzo bajo cubierta. Los resultados mostraron que los esfuerzos de Von Mises y otros parámetros estructurales permanecieron dentro de los límites admisibles, asegurando así la integridad y seguridad operacional de la estructura. La validación de los resultados de la simulación confirma la hipótesis específica de que el análisis numérico garantiza el cumplimiento de los criterios de aceptación y los factores de seguridad, asegurando la eficacia operativa y la seguridad de la grúa en la embarcación costera.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se desprenden del trabajo de investigación son:

1. Se sugiere explorar el uso de materiales alternativos (compuestos) en la construcción de la base de la grúa y los refuerzos para evaluar posibles mejoras en la resistencia y reducción de peso. La comparación con los materiales actuales podría ofrecer opciones más eficientes y económicas.
2. Para futuros trabajos, se recomienda implementar un análisis dinámico que considere las vibraciones y cargas cíclicas durante el funcionamiento de la grúa. Esto permitirá una evaluación más completa del comportamiento estructural bajo condiciones operativas extremas y en diversas velocidades de operación.
3. Se aconseja realizar ensayos experimentales en condiciones reales para validar los resultados obtenidos mediante simulaciones FEM. Esta validación empírica proporcionará una confirmación adicional de la robustez estructural y la seguridad operativa, garantizando la precisión de los modelos numéricos utilizados en el estudio.

REFERENCIAS

American Bureau of Shipping ABS (2024). Parte 3 Hull Construction and Equipment, Rules for building and classing marine vessel.

American Bureau of Shipping ABS (2021). ABS guide for certification of lifting appliances. Chapter 2 Guide for Certification of Cranes.

American Society for Testing and Materials ASTM (2004). Annual book of ASTM standards – Norma A131 Standard Specification for Structural Steel for Ships. Philadelphia:ASTM.

ISO 12217-1 (2015). Small craft. Stability and Buoyancy assessment and categorization. Non-sailing boats of hull Length greater than or equal to 6 M.

ISO 12215-5 (2019). Part 5 Design Pressure for Monohulls, Design Stresses, Scantlings Determination. *Small Craft Hull Construction and scantlings*.

Det Norske Veritas Germanischer Lloyd (2020). Rules for Classification Inland Navigation Vessel, Part 03 Structures equipment. Chapter 4 Section 6 - Vessel less than 40 M in Length.

Dlužanský, T. (2019). Návrh jeřábu pro obecné použití, pro manipulaci na palubě plavidla: Design of General Service Crane, used for manipulation on the deck of the vessel. (Thesis). Brno University of Technology. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11012/2219>

Hughes, O. F., Paik, J. K., & Béghin, D. (2010). *Ship structural analysis and design*. Society of Naval Architects & Marine Engineers.

- Lloyd's Register (2013). Code for Lifting Appliances in a Marine Environment. Chapter 4
Section 2 - Cranes and Submersible Lifting Appliances. <http://www.lr.org/entities>
- Martin, I. A., & Irani, R. A. (2021a). A generalized approach to anti-sway control for shipboard cranes. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 148, 107168. doi:10.1016/j.ymssp.2020.107168
- Martin, I. A., & Irani, R. A. (2021b). Dynamic modeling and self-tuning anti-sway control of a seven degree of freedom shipboard knuckle boom crane. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 153, 107441. doi:10.1016/j.ymssp.2020.107441
- Qian, Y., Fang, Y., & Lu, B. (2019). Adaptive robust tracking control for an offshore ship-mounted crane subject to unmatched sea wave disturbances. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 114, 556–570. doi:10.1016/j.ymssp.2018.05.009
- Resolución Directoral N.º 0474-98/DCG. Normas para la preparación y ejecución de pruebas de estabilidad a naves nacionales, que realizan actividades acuáticas en el mar, ríos y lagos navegables. <https://consultas.dicapi.mil.pe/>
- Resolución Directoral N.º 1209-2012-MGP/DCG. Adoptar el Código Internacional de Estabilidad sin Averías, 2008 (Código IS, 2008), aprobado por Resolución MSC.267(85). <https://consultas.dicapi.mil.pe/>
- Schaub, H. (2008). Rate-based ship-mounted crane payload pendulation control system. *Control Engineering Practice*, 16(1), 132–145. doi:10.1016/j.conengprac.2007.04.011
- Sood, U. (2017). Assessment of Lifting Criteria for Crane on a Heavy Lift Ship 'load check and fatigue life calculation'. (Master Thesis). University of Rostock. <http://hdl.handle.net/2268.2/4428>
- Weintrit, A., & Neumann, T. (Eds.). (2011). *Transport systems and processes: Marine navigation and safety of sea transportation*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11347>

Ye, Q. (2015). Consequences of cracks on ship structural integrity - An investigation of hull ultimate strength and crack propagation on ship structures. (Thesis). Chalmers University of Technology. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12380/219365>

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia	1
ANEXO 2 Plano de líneas de forma.....	3
ANEXO 3 Características técnicas de la grúa M 65.20A.....	5
ANEXO 4 Cuaderna 05 y mamparo 06	11

ANEXO 1: Matriz de consistencia

En este anexo se presentan la matriz de consistencia.

Tabla A.1

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cómo puede desarrollarse un análisis estructural eficiente de la base de una grúa en cubierta y el reforzamiento bajo cubierta utilizando el método de elementos finitos para garantizar la seguridad operacional de la grúa en una embarcación costera de transporte de carga y gente de mar?	Desarrollar un análisis estructural de la base de una grúa en cubierta y el reforzamiento bajo cubierta mediante método de elementos finitos para la seguridad operacional de la grúa en una embarcación costera de transporte de carga y gente de mar.	El desarrollo de un análisis estructural eficiente de la base de una grúa en cubierta y el reforzamiento bajo cubierta utilizando el método de elementos finitos garantizará la seguridad operacional de la grúa en una embarcación costera de transporte de carga y gente de mar.	V. Dep: Seguridad operacional de la grúa	Seguridad operacional	Factor de seguridad	Tipo y nivel de Investigación: Tipo aplicada Nivel descriptivo Unidad de análisis: Base de grúa Procesamiento de datos: FEM
Específicos: 1. ¿Cuáles son los requisitos y especificaciones técnicas necesarios para llevar a cabo un análisis estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta en una embarcación costera? 2. ¿Cómo puede realizarse un diseño estructural adecuado y un análisis de cargas preciso para la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta, considerando las especificaciones técnicas y los lineamientos y recomendaciones de las sociedades clasificadoras? 3. ¿De qué manera puede simularse numéricamente la integridad estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta mediante el método de elementos finitos, asegurando que se cumplan los criterios de aceptación y los factores de seguridad requeridos?	Específicos: 1. Determinar los requisitos y especificaciones técnicas para el análisis estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta. 2. Realizar el diseño estructural y análisis de cargas para la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta. 3. Simular numéricamente la integridad estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta mediante el método de elementos finitos.	Específicos: 1. Los requisitos y especificaciones técnicas necesarios para el análisis estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta pueden ser claramente definidos y documentados, asegurando una base sólida para el diseño y análisis estructural. 2. Un diseño estructural adecuado y un análisis de cargas preciso, que considere las especificaciones técnicas y los lineamientos y recomendaciones de las sociedades clasificadoras, resultará en una base de grúa y un reforzamiento bajo cubierta que soporten de manera segura las cargas operativas y dinámicas. 3. La simulación numérica de la integridad estructural de la base de la grúa y el reforzamiento bajo cubierta mediante el método de elementos finitos aseguraría el cumplimiento de los criterios de aceptación y los factores de seguridad requeridos, garantizando así la integridad y la seguridad operacional de la grúa.	V. Ind: Requisitos y especificaciones técnicas Diseño estructural y análisis de cargas Simulación numérica de la integridad estructural	Cumplimiento normativo Precisión del diseño Exactitud de la simulación	Cumplimiento con las normativas y especificaciones técnicas relevantes Relación entre las cargas calculadas y las cargas permisibles Resultados de simulación que cumplen con los criterios de aceptación	

ANEXO 2 Plano de líneas de forma

En este anexo se presentan figuras del plano de líneas de formas de la embarcación costera de transporte de carga y gente de mar.

Figura B.1

Vista de elevación de la forma de la embarcación costera

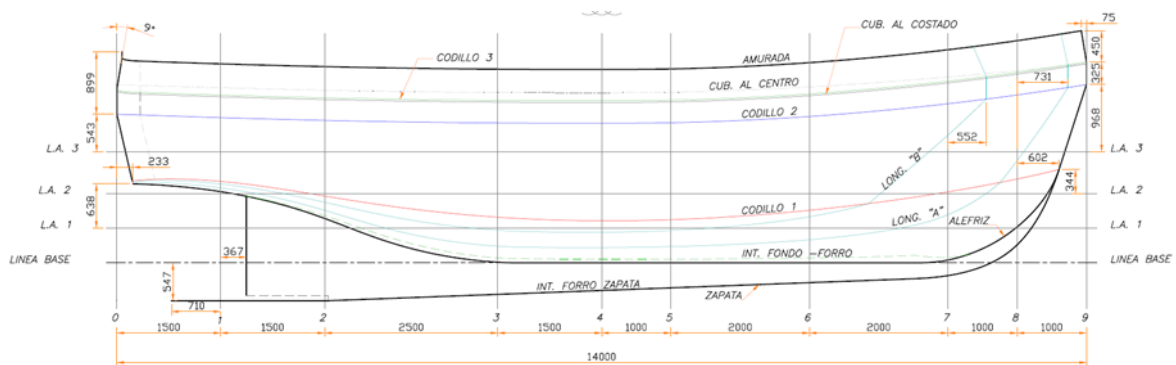


Figura B.2

Vista de planta de la forma de la embarcación costera

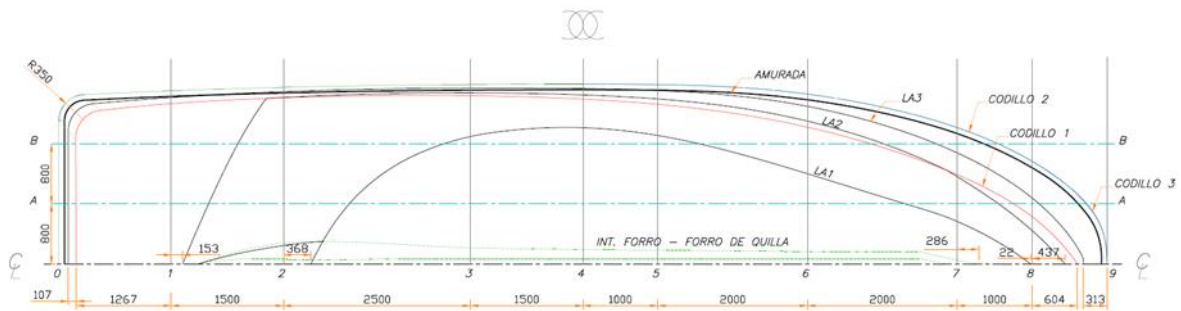


Figura B.3

Vista transversal de la forma de la embarcación costera

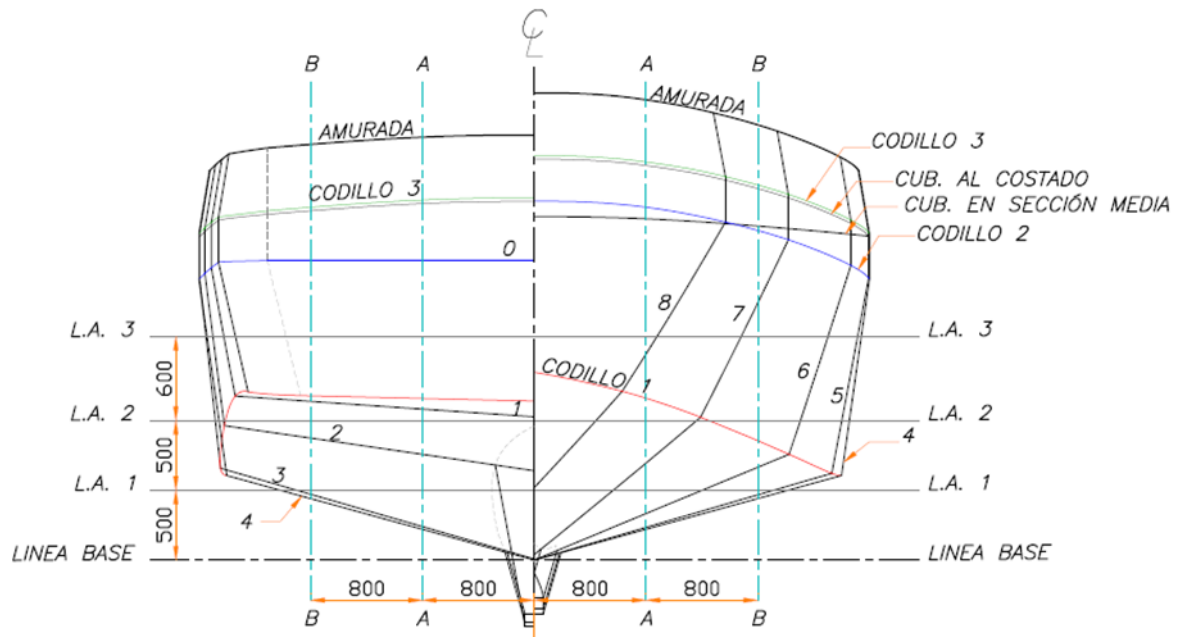


Figura B.4

Curva de bao

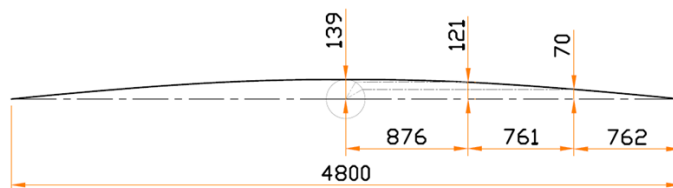


Figura B.5

Tablas de puntos de la forma de la embarcación costera

VALORES DE SEMIMANGAS - EJE "Y"											VALORES DE ALTURAS - EJE "Z"											
ESTACIÓN	INT. FORRO - ZAPATA	INT. FORRO - CASCO	LA 1	LA 2	LA 3	CODILLO 1	CODILLO 2	CODILLO 3	CUB. COSTADO	AMURADA	ESTACIÓN	INT. FORRO - ZAPATA	INT. FORRO - CASCO	ZAPATA	ALEFRIZ	CODILLO 1	CODILLO 2	CODILLO 3	LONG. "A"	LONG. "B"	CUB. COSTADO	AMURADA
0	-	-	-	-	-	-	1910	1910	1910	1910	0	-	-	-	-	-	2143	2499	-	0	2474	-
1	-	-	-	-	2221	2139	2311	2311	2311	2235	1000	-	-	-547	963	1173	2092	2417	1080	1136	2392	2866
2	65	278	-	2222	2299	2217	2357	2357	2357	2281	2000	-472	680	-547	640	962	2050	2375	757	873	2352	2825
3	65	213	1700	2282	2348	2244	2395	2395	2395	2320	3000	-442	70	-455	9	657	2015	2340	239	471	2315	2790
4	54	192	1817	2255	2340	2200	2400	2400	2400	2325	4000	-386	53	-398	0	605	2011	2336	220	440	2311	2786
5	54	181	1713	2201	2314	2130	2393	2393	2393	2318	5000	-348	53	-361	0	621	2019	2344	234	467	2319	2793
6	54	164	1203	1905	2103	1825	2266	2266	2266	2191	6000	-273	68	-286	0	757	2108	2433	332	664	2408	2884
7	-	49	566	1164	1481	1190	1819	1819	1819	1739	7000	-	79	-184	39	1022	2292	2617	693	1840	2592	3070
8	-	-	-	443	879	629	1370	1370	1370	1283	8000	-	-	518	518	1208	2419	2744	1473	-	2719	3201
9	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	9000	-	-	-	2568	-	2568	2894	-	-	-	2869

ANEXO 3 Características técnicas de la grúa M 65.20A

En este anexo se presentan las características e informe técnico de la grúa.

Figura C.1

Información técnica de la grúa M 65.20A – Pag.1

INFORMACIÓN TÉCNICA PARA LA INSTALACIÓN DE LA GRÚA SEGÚN NORMA UNE-EN 12999
TECHNICAL INFORMATION FOR THE INSTALLATION OF THE CRANE ACCORDING TO UNE-EN 12999

GUERRA

SERIE / SERIAL: **M 65.20A**

DIMENSIONES / DIMENSIONS

		M 65.20A1	M 65.20A2	M 65.20A3	-	-	-
Longitudinal	A	550	550	550	-	-	mm
Transversal / traverse	B	2200	2200	2200	-	-	mm
Vertical	H	1900	1900	1900	-	-	mm

Masa total de la grúa /
Total mass of crane

G	900	990	1070	-	-	-	Kg
---	-----	-----	------	---	---	---	----

Coordenadas del centro de gravedad de la grúa (G) plegada / Co-ordinales of Centre of Gravity of crane (G) folded.

X_g	-	-	-	-	-	-	mm
Y_g	230	235	235	-	-	-	mm
Z_g	720	715	710	-	-	-	mm

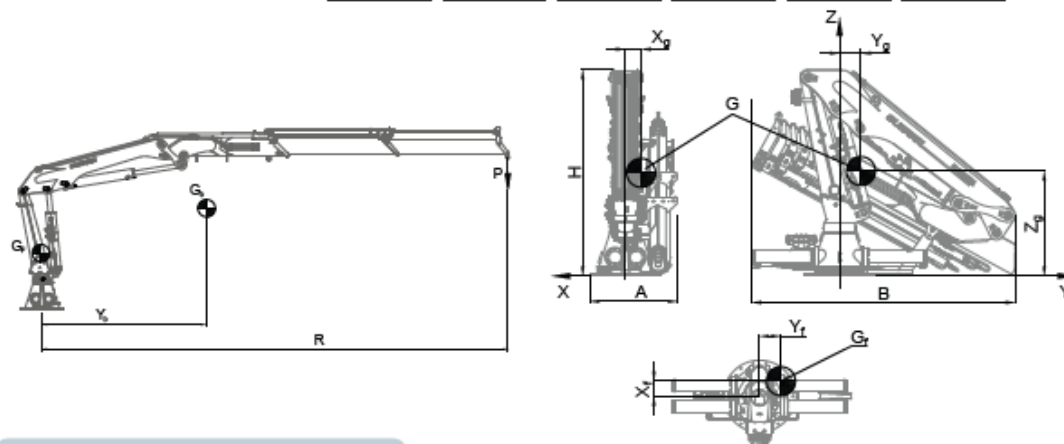
DATOS DE LA GRÚA / CRANE DATA

Momento de elevación total máximo / Max total lilling moment ($P R + G_b Y_b$)

M_{et}	69.1	68.4	68.0	-	-	-	kNm
----------	------	------	------	---	---	---	-----

Momento de elevación dinámico total máximo / Max total dynamic lilling moment ($\phi_2 P R + \phi_1 G_b Y_b$)

M_{dyn}	82.6	83.0	83.7	-	-	-	kNm
-----------	------	------	------	---	---	---	-----



DATOS DE MONTAJE / MOUNTING DATA

Número de tornillos / Number of bolts

Diámetro de los tornillos / Bolts diameter

Calidad de los tornillos / Grade of bolts

Par de apriete / Tightening torque

	Un solo uso/ Single use	Varios usos/ Various uses
	12	12
	24 mm	24 mm
	10.9	10.9
T	1000 Nm	770 Nm

Figura C.2

Información técnica de la grúa M 65.20A – Pag.2

Información técnica para la instalación de la grúa según norma UNE-EN 12999

MARINE CRANES

GUERRA

REQUISITOS DE POTENCIA / POWER REQUIREMENTS

	Fixed		Variable
Tipo de bomba (fijo/variable) / Pump type (fixed / variable)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Cilindrada / displacement	<input type="text" value="-"/> cm ³		<input type="text" value="-"/> cm ³
Máximo caudal admitido por la válvula de control / Max. flow allowed by the control valve	Q_r <input type="text" value="-"/> l/min		<input type="text" value="-"/> l/min
Caudal de trabajo recomendado / Recommended working flow	<input type="text" value="25"/> l/min		<input type="text" value="-"/> l/min
Presión de trabajo / Working pressure	P <input type="text" value="230"/> bar		<input type="text" value="-"/> bar
Reglaje máximo de la válvula de descarga sobre la grúa / Max setting of the relief valve	P_r <input type="text" value="250"/> bar		<input type="text" value="-"/> bar
Potencia hidráulica requerida / Hydraulic power required	P_r <input type="text" value="9.6"/> kW		<input type="text" value="-"/> kW
Potencia eléctrica requerida / Electric power required	voltaje/ voltage <input type="text" value="24"/> V		<input type="text" value="-"/> V
	intensidad/ intensity <input type="text" value="10"/> A		<input type="text" value="-"/> A

NOTA: Por razón medioambiental, las grúas cargadoras con momento neto de elevación mayor de 400 kNm deberían equiparse con bombas de caudal variable. {◀A2} / **NOTE:** For environmental reasons, loader cranes with a net lifting moment greater than 400 kNm should be equipped with variable displacement pumps. {◀A2}

CÁLCULOS DE ESTABILIDAD: DATOS / STABILITY CALCULATIONS: DATA

Masa de la unidad de base de la grúa, más la columna y el cilindro de elevación (cilindro de la primera pluma) / Mass of crane base unit, plus the column and the lift cylinder (1st Boom cylinder).

	M 65.20A1	M 65.20A2	M 65.20A3	-	-	-
G_F	<input type="text" value="475"/>	<input type="text" value="475"/>	<input type="text" value="475"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/> kg

Coordenadas del centro de gravedad de G_F y de la columna y el cilindro de la primera pluma / Co-ordinates of Centre of Gravity of G_F

X_F	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/> mm
Y_F	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/> mm

Masa del sistema de pluma / Mass of the boom system

G_b	<input type="text" value="420"/>	<input type="text" value="495"/>	<input type="text" value="555"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/> kg
-------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------

Coordenadas del centro de gravedad del sistema de pluma / Coordinates of the center of gravity of the boom system

Y_b	<input type="text" value="2.2"/>	<input type="text" value="2.8"/>	<input type="text" value="3.3"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="-"/> mm
-------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------

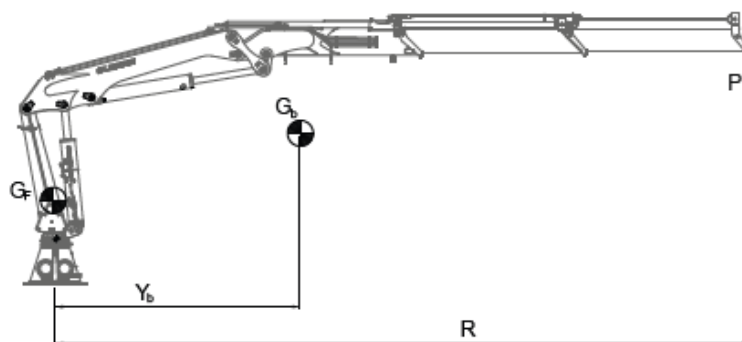


Figura C.3

Información técnica de la grúa M 65.20A – Pag.3

Technical information for the installation of the crane according to UNE-EN 12999

GRÚAS MARINAS

FUENTE DE ALIMENTACIÓN / POWER SUPPLY

GUERRA

Potencia disponible / Available power (kW) $P_w = \frac{M \times n}{9\,550}$

Potencia requerida / Power required (kW) $P_r = \frac{Q \times p}{600 \times \eta}$

Es esencial que / It is essential that: $P_w \geq P_r$ y $Q_r \geq \frac{C \times n}{1000}$

NOTA: para calcular la potencia necesaria, es vital tener en cuenta el equipamiento auxiliar que se conecta entre la fuente de alimentación y la bomba hidráulica. / NOTE: to calculate the required power, it is vital to consider the auxiliary equipment connected between of the power supply and the hydraulic pump.

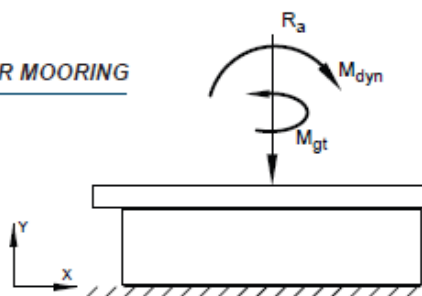
Es esencial que / It is essential that:

Donde / Where:

- M** es el par máximo admisible de la fuente de alimentación / max permitted power supply torque (Nm);
- n** es la velocidad de rotación la bomba / pump speed; (min-1);
- C** es la cilindrada de la bomba por revolución / pump displacement (cm3);
- Q** es el caudal de la bomba / pump delivery (l/min);
- P** es la presión de trabajo / setting pressure of the main relief valve (bar);
- η** es la eficiencia total de la bomba / is the total efficiency of the pump.

ESFUERZO SOBRE EL POLÍN / EFFORT ON THE SKID FOR MOORING

Símbolos / Symbols:



Momento dinámico máximo / maximum dynamic moment;

	M 65.20A1	M 65.20A2	M 65.20A3	-	-	-
M_{dyn}	82.6	83.0	83.7	-	-	-

kN.m

Momento de giro / slewing torque;

	19.1	19.1	19.1	-	-	-
M_{gt}	19.1	19.1	19.1	-	-	-

kN.m

Carga vertical máxima / Maximum vertical load;

	22.2	19.4	17.8	-	-	-
R_a	22.2	19.4	17.8	-	-	-

kN

Figura C.4

Información técnica de la grúa M 65.20A – Pag.4

Información técnica para la instalación de la grúa según norma UNE-EN 12999

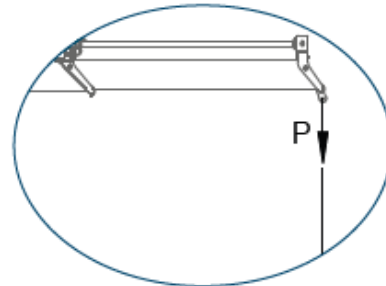
MARINE CRANES

GUERRA

CARGAS DE ENSAYO / TEST LOADS

Cargas de ensayo dinámico 1'1 P / *Dynamic test loads 1'1 P*

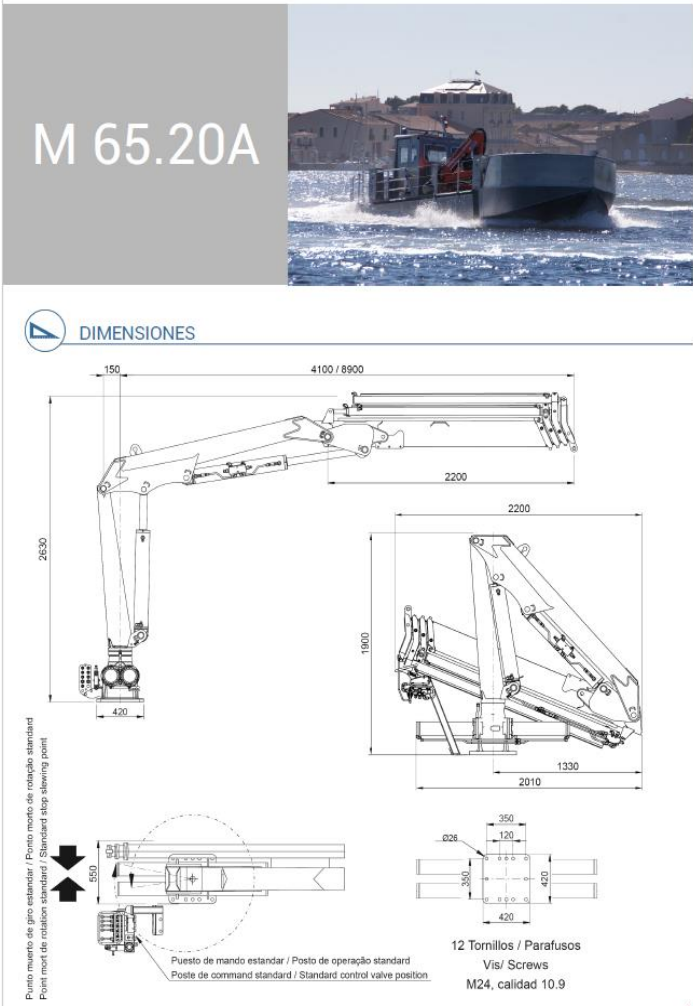
Cargas de ensayo estático 1'25 P / *Static test loads 1'25 P*
























NOTA: todos estos datos corresponden a la grúa estándar sin accesorios. / **NOTE:** all these data correspond to the standard crane without accessories.

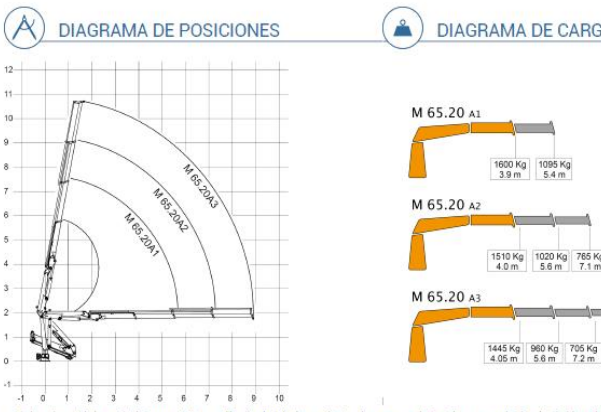
Figura C.5

Dimensiones, datos técnicos y características de la grúa M 65.20A



DATOS TÉCNICOS			
		M 65.20A1	M 65.20A2
 CAPACIDAD MÁXIMA DE ELEVACIÓN	[kNm]	61.13	59.0
 MÁXIMO ALCANCE HIDRÁULICO	[m]	5.5	7.2
 MOMENTO DE GIRO BRUTO	[kNm]	16.24	16.24
 ÁNGULO DE GIRO	[°]	440	440
 PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO	[bar]	230	230
 CAUDAL MÁXIMO	[l/min]	25	25
 PESO DE LA GRÚA ESTÁNDAR	[Kg]	900	990

CARACTERÍSTICAS	OPCIONAL
 Diseñado según DIN 15018 clase H1-B3	 Cabrestante hidráulico
 La estructura de la grúa está granallada y metalizada	 Mando a distancia
 Doble capa de imprimación y doble capa de pintura	 Tomas hidráulicas auxiliares
 Cilindros especiales con vástagos de Ni-Cr para ambientes marinos	 cabina
 Racores de flexibles y tubos de instalación hidráulica en INOX	 Central hidráulica eléctrica, diésel
 Flexibles con doble capa de goma A	
 Sistema de giro piñón cremallera, en baño de aceite, mediante cilindros, con cojinetes de bronce	
 Válvulas de seguridad pilotadas en los cilindros	
 Botón parada de emergencia y limitador de carga hidráulico.	

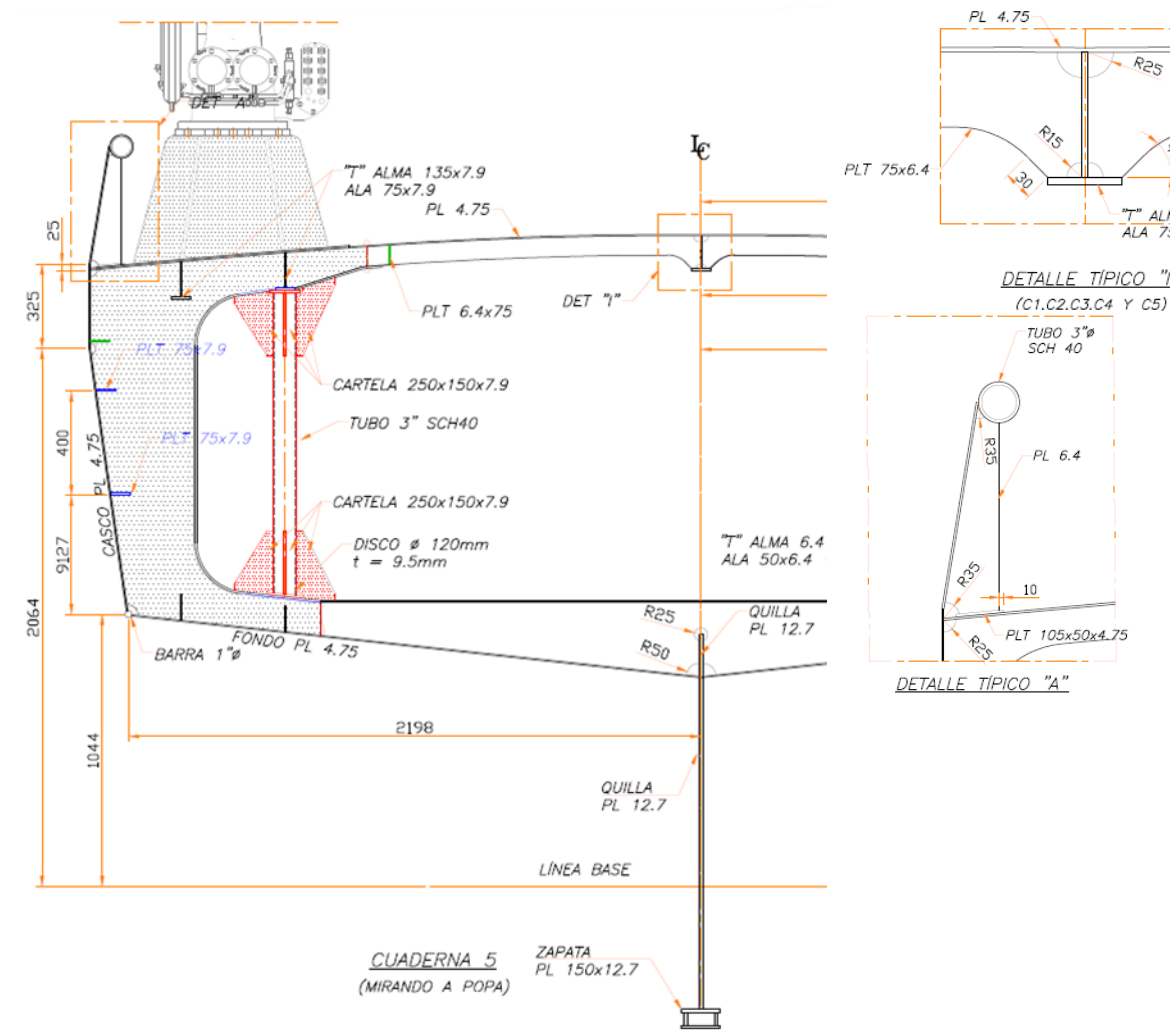


ANEXO 4 Cuaderna 05 y mamparo 06

En este anexo se presentan la cuaderna 05 y mamparo 06 donde se ubicaría el reforzamiento bajo cubierta que apoya la base estructural de la grúa.

Figura D.1

Cuaderna 05 y detalles



Mamparo 06 y detalles

