



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN MODELO DE BOYA DE
AMARRE PARA EMBARCACIONES DE
HASTA 30.000 TONELADAS**

Autor(es):

Maria Paola Díaz

José Andrés Amaro

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN MODELO DE BOYA DE AMARRE PARA EMBARCACIONES DE
HASTA 30.000 TONELADAS**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor(es):

Maria Paola Díaz

José Andrés Amaro

Tutor(a):

Donato Romanello

San Diego, junio de 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Diseño de un modelo de soya de amarre para embarcaciones de hasta 30.000 toneladas

Realizado por el (la) Br. Díaz Rosario, María Paola
C.I. N° 3038071 cursante de la carrera de ING. MECÁNICA.
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

Romanillo
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Donato Romanillo
C.I.: 4131877

Ortega
Jurado
Nombre: Juan Ortega
C.I.: 3476801

Pozzella
Jurado
Nombre: Giuseppe Pozzella
C.I.: 4455859

Fecha: 03, 07, 23.

[Signature]





UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Diseño de un modelo de boya de amarre para embarcaciones de 30.000 TON

Realizado por el (la) Br. AMARO SULBARAN, José ANTONIO.
C.I. N° 30118648 cursante de la carrera de ING. MECÁNICA.
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

Donato Romanello
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Donato Romanello
C.I.: 4131877

José Ortega
Jurado
Nombre: José Ortega
C.I.: 3476801

Giovanni Pizzella
Jurado
Nombre: Giovanni Pizzella Fecha: 03, 02, 23
C.I.: 41455859





REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, DONATO ROMANELLO, portador de la cédula de identidad N° 4.131.877, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos MARIA DÍAZ, portadora de la cédula de identidad N° 30.380.795 y JOSÉ AMARO, portador de la cédula de identidad N° 30.118.648, titulado **DISEÑO DE UN MODELO DE BOYA DE AMARRE PARA EMBARCACIONES DE HASTA 30.000 TONELADAS**, presentado como requisito parcial para optar al título de INGENIERO MECÁNICO, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 07 días del mes de JUNIO del año dos mil veintitrés.



Donato Romanello

C.I: 4.131.877



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

FI N 009 2022-3CR TG

Valencia, 14 de abril de 2023

Ciudadanos:
AMARO SULBARAN, JOSÉ ANDRÉS
30.118.648
DÍAZ ROSARIO, MARÍA PAOLA
30.380.795
Presente -

Cumplo con informarles que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2023 de fecha 08/02/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

Diseño de un modelo de boya de amarre para embarcaciones de hasta 30.000 toneladas.

Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Donato Romanello Lombardi, titular de la cédula de identidad V-4.131.877

Atentamente

Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por guiar mi camino y brindarme la sabiduría y la paciencia necesarias para superar cada etapa a lo largo de mi vida y de este proceso en particular. A mis padres, que me brindaron su apoyo incondicional y su ayuda en todo momento, gracias por entenderme, ayudarme con todo lo posible a lo largo de este proceso, y velar siempre por mi bienestar. A mi abuela, gracias por llamarme cada cierto tiempo y preguntarme como me iba, gracias por tenerme presente en tus oraciones y emocionarte cada vez que te contaba que habíamos avanzado un poco más. A la abuela de Jose, gracias por emocionarte conmigo cada vez que me veías con la camisa de promo y te comentaba como nos iba, nunca lo olvidaré. Y a Victoria, gracias por estar todo el tiempo para mí a pesar de la diferencia de horario, gracias por animarme y ser mi fan #1 desde el primer día y recordarme que puedo con todo.

Quiero agradecer especialmente a Jose, gracias por acompañarme en esta ardua aventura, por resolver conmigo cada problema y celebrar cada victoria, pequeña o grande, gracias por recordarme cada día de lo que soy capaz y por hacer este proceso más fácil y divertido de lo que pensé que podría ser. Gracias por enseñarme a trabajar en equipo, a resolver con paciencia aún en momentos de mucho estrés y a ser una mejor persona cada día. Sin duda alguna, fuiste el mejor compañero que pude haber pedido para acompañarme en este camino.

A los profesores que nos acompañaron a lo largo de este camino, muchas gracias por su paciencia y su constante apoyo. Muchas gracias al profe Ing. Donato, por confiar en nosotros y tenernos paciencia al entregar cada avance. Gracias a la profe Ing. Yndira, por su ayuda incondicional y por recibirnos con los brazos abiertos cada que llegamos a su oficina. Gracias a todos los profesores de la facultad de ingeniería mecánica, por enamorarme cada día más de esta maravillosa carrera.

Finalmente, a mis amigos de la universidad, gracias por mostrarme que este sufrimiento fue en conjunto y no solo de nosotros, gracias por llevar cada paso del camino con humor y hacerme reír cada fecha de entrega. Y a mis amigos del colegio, gracias por apoyarme siempre y escucharme con atención cada que hablaba de mi progreso, aunque no tengan idea de que estaba hablando, gracias por siempre estar ahí para mí.

A todos, ¡Muchísimas gracias!

Maria Paola Díaz

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, estaré de por vida agradecido con Dios, quien estoy seguro de que, a lo largo de estos maravillosos tres años y medio, nunca me dejó solo en el camino.

Quiero agradecer a mi madre, quien ha sido, fue y seguirá siendo un pilar fundamental en mi vida, quien con su apoyo incondicional ha sabido guiarme y aconsejarme ante cualquier situación adversa.

A mi tutor académico Ing. Donato Romanello, quien con su conocimiento nos apoyó en este proyecto, y con fe supo de lo que éramos capaces.

No olvidare a los excelentes profesores que con sus conocimientos y sabios consejos siempre han estado allí, dando un poco de aliento e inspirándonos a ser mejores cada día.

A Pao, que contra viento y marea siempre ha estado a mi lado, quien a pesar de que por malo que se vea el camino, está dispuesta a acompañarme en una nueva aventura. Nunca encontrare forma alguna de agradecer su presencia en mi vida, sin duda, una de las personas que me inspiraba a diario a seguir esforzándome para alcanzar ese sueño que hoy se vuelve realidad.

Y siempre estaré en deuda con todas esas personas que fueron fuente de apoyo, inspiración y proveedores de buenos consejos y conocimientos.

A todos, ¡Muchas gracias!

José Amaro

ÍNDICE

CONTENIDO	pp.
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE GRÁFICOS.....	xii
LISTA DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN INFORMATIVO.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	7
1.3 Objetivos de la Investigación.....	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Justificación.....	8
1.5 Alcance y Limitaciones.....	9
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	10
2.2. Teoría central de la investigación.....	11
2.3 Bases Teóricas.....	12
2.4 Bases Legales.....	42
2.5 Definición de Términos.....	43

III	MARCO METODOLÓGICO	
	3.1 Enfoque de la investigación.....	45
	3.2 Tipo de investigación.....	45
	3.3 Diseño de la Investigación.....	46
	3.4 Nivel de la investigación.....	46
	3.5. Población y muestra.....	46
	3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	47
	3.7. Técnicas de análisis de resultados.....	47
	3.8. Fases metodológicas.....	48
IV	RESULTADOS	
	4.1 Diagnosticar la situación actual de fabricación de boyas de amarre a nivel nacional.....	49
	4.2 Analizar las variables involucradas en el diseño de boyas de amarre.....	49
	4.3 Seleccionar la alternativa más viable para las embarcaciones de hasta 30.000 toneladas.....	67
	4.4 Diseñar el modelo de boya de amarre con capacidad de embarcaciones de hasta 30.000 toneladas	82
	4.5 Evaluar la viabilidad económica del diseño seleccionado	84
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
	Conclusiones.....	87
	Recomendaciones.....	89
	REFERENCIAS.....	90
	ANEXOS.....	94
	PLANOS.....	103

LISTA DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Costos de piezas necesarias para la fabricación del modelo de boya de amarre	84
2	Relación costo beneficio.....	85

LISTA DE FIGURAS

DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Muelles de la refinería Amuay.....	4
2	Puerto La Guaira.....	4
3	Puerto Cabello.....	5
4	Boya de señalización de orientación, Puerto Cabello, Venezuela.....	6
5	Boya de amarre.....	7
6	Boya de amarre en uso.....	7
7	Ejemplo de muelle con explanada anexa.....	12
8	Muelle con explanada anexa.....	13
9	Ejemplo de pantalán continuo.....	13
10	Pantalán discontinuo con atraque a un solo lado y a ambos lados (solución mixta).....	14
11	Pantalanes.....	14
12	Ejemplo de alzado tipo duque de alba.....	15
13	Duques de alba.....	15
14	Ejemplo de estación de transferencia a flote.....	16
15	Boya de amarre tipo monoboya.....	16
16	Sistema de amarre tipo multiboya.....	17
17	Sistema de amarre tipo multiboya.....	17
18	Ejemplo de boyas de amarre tipo muerto, tipo ancla y tipo muerto y ancla, respectivamente.....	18
19	Partes que conforman un sistema de amarre monoboya.....	18
20	Estructura general de una monoboya.....	19
21	Leyenda de dimensiones de un buque.....	21
22	Disposición óptima del sistema de amarre para buques con $L \geq 25 m$ amarrados a un campo de boyas.....	23

23	Esquema de cálculo para la determinación de las cargas de amarre en el caso de buque amarrado a un sistema de amarre de orientación fija constituido por dos puntos de amarre en proa y dos en popa.....	35
24	Posiciones de soldadura de filete entre láminas.....	41
25	Soldadura de filete en unión entre tuberías y tubería-lámina.....	42
26	Vista satelital del puerto de la Planta de Distribución de PDVSA en Carenero.....	50
27	Diagrama de cuerpo libre simplificado con las fuerzas que favorecen el hundimiento de la boya y la fuerza de flotabilidad requerida.....	69
28	Diagrama simplificado de dimensiones estándar de una boya de amarre.....	70
29	Dimensiones de láminas de acero ASTM A36.....	73
30	Gancho de desprendimiento rápido tipo individual instalado.....	74
31	Dimensiones de soldadura de doble bisel.....	77
32	Soldadura de filete en unión entre láminas.....	77
33	Tabla de valores estándar de productos Sinthesis C.A.....	79
34	Características de los componentes.....	79
35	Características de la espuma en el panel.....	79
36	Color RAL 1023.....	80
37	Especificaciones Color RAL 1023.....	80
38	Características de ánodo de Zinc tipo elíptico.....	81
39	Dimensiones de ánodo de Zinc tipo elíptico.....	82
40	Vista isométrica de diseño de boya de amarre.....	82
41	Vista alzado de diseño de boya de amarre.....	83
42	Vista inferior de diseño de boya de amarre.....	83
43	Vista isométrica interna de diseño de boya de amarre.....	84

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Factor adimensional para la corriente actuando sobre el buque amarrado en dirección transversal.....	29
2	Coefficiente de flotación (adimensional).....	34
3	Coefficiente de profundidad relativa (adimensional).....	34

LISTA DE TABLAS

DESCRIPCIÓN

TABLA		pp.
1	Dimensiones medias de buques a plena carga.....	21
2	Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado.....	24
3	Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado.....	27
4	Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de fricción debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado.....	31
5	Componente cuasi-estática de la resultante horizontal del oleaje sobre un buque amarrado.....	32
6	Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	36
7	Propiedades químicas y mecánicas del acero ASTM A53.....	38
8	Relación de resistencia de metal base y metal de aporte.....	39
9	Metales aprobados para WPS precalificadas.....	39
10	Metales de aporte para los materiales de la tabla anterior.....	39
11	Temperatura de precalentamiento y entre pasadas.....	41
12	Propiedades de cadena con concrete.....	68
13	Composición química del acero ASTM A36.....	72
14	Carga de trabajo y carga de prueba de gancho de desprendimiento rápido tipo individual.....	74



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DISEÑO DE UN MODELO DE BOYA DE AMARRE PARA EMBARCACIONES DE HASTA 30.000 TONELADAS.

Autores: Maria Paola Díaz
José Amaro
Tutor: Ing. Donato Romanello
Fecha: Junio, 2023

RESUMEN INFORMATIVO

En la actualidad existen diversos métodos de transporte para llevar cargas a largas distancias, incluso de un continente a otro, uno de los métodos más utilizados es el medio marítimo, debido a que permite llevar grandísimas cantidades de una manera muy eficiente. Es por ello que es indispensable contar con los recursos para manejar dichas cargas, se suelen usar embarcaciones de grandes dimensiones y es fundamental que éstas cuenten con un sistema de amarre al momento de la descarga, siendo utilizado para esto un sinnúmero de medios, pero siendo uno de los más fáciles de usar y de mayor flexibilidad las boyas de amarre, es por ello que la presente investigación tuvo como finalidad, diseñar un modelo de boya de amarre para buques de hasta 30.000 toneladas. En cuanto a la metodología el trabajo ha sido basado en un proyecto factible, el cual está sustentado en un diseño documental de campo con un nivel descriptivo. Además, se emplearon técnicas de recolección de datos como la observación directa y la revisión documental, tomando como mayor apoyo revisiones bibliográficas referentes al tema. Por otro lado, se tuvo como línea de investigación, ciencias cognitivas y aplicadas. Además, se llegó a la conclusión del conjunto de parámetros que debe tener el modelo de boya de amarre diseñado para buques de hasta 30.000 toneladas, así como su diseño y modelado en el software SolidWorks, dicho diseño es factible económicamente en comparación con la adquisición de una estructura de este tipo en el mercado internacional.

Descriptor: Amarre, buques, puerto, carga, descarga

INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo de mercancías constituye un pilar clave en la economía global. Según la Organización de las Naciones Unidas, a principios de 2021, la flota mercante mundial llegó a alcanzar la capacidad de 2.130 millones de toneladas de peso muerto, resultando en un aumento del 3% respecto al año anterior. El transporte marítimo es una de las versiones más antiguas que se conocen del intercambio comercial, es una práctica que utilizaban las civilizaciones antiguas establecidas a orillas de mares y ríos.

En la actualidad existen diversos métodos de transporte para llevar cargas a largas distancias, incluso de un continente a otro, uno de los métodos más utilizados es el medio marítimo, debido a que permite llevar grandísimas cantidades de una manera muy eficiente. Es por ello que es indispensable contar con los recursos para manejar dichas cargas, se suelen usar embarcaciones de grandes dimensiones y es fundamental que éstas cuenten con un sistema de amarre al momento de la descarga, siendo utilizado para esto un sinnúmero de medios, pero siendo uno de los más fáciles de usar y de mayor flexibilidad las boyas de amarre, es por ello que la presente investigación tuvo como objetivo diseñar un modelo de boya de amarre para buques de hasta 30.000 toneladas. La investigación desde un punto de vista metodológico es definida como proyecto factible, investigación descriptiva y documental de campo, tomando como mayor apoyo revisiones bibliográficas referentes al tema. Además, se emplearon técnicas de recolección de datos como la observación directa y la revisión documental. El estudio realizado en este trabajo de grado fue distribuido en cuatro capítulos:

Capítulo I: Explicar todo lo relacionado con el método y planteamiento del problema, excepto el objetivo del proyecto y las limitaciones que surgen en la resolución del problema.

Capítulo II: Cubre toda la terminología y los conceptos necesarios que permitieron llevar a cabo el estudio, así como una breve descripción del contexto relevante para el estudio.

Capítulo III: Cubre los diversos pasos metodológicos utilizados para formular estrategias diseñadas para lograr los objetivos propuestos. Donde se describe en primer lugar el tipo de investigación, el diseño y el nivel del estudio, así como la descripción de la población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y las fases metodológicas.

Capítulo IV: Se presentan los resultados, donde se expresa como se desarrollaron cada una de las fases de la investigación, y como, a partir de los instrumentos de recolección de datos y una serie de normas y procedimientos, se determinaron los resultados obtenidos al finalizar la investigación,

acompañado de conclusiones y una serie de recomendaciones. Finalmente, se presentan las referencias bibliográficas, es decir, las fuentes que sirvieron de sustento para el desarrollo del presente Trabajo de Grado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad, en un mundo globalizado, las rutas marítimas han pasado a ser protagonistas en el comercio internacional, que se ha incrementado en forma exponencial, presentando grandes desafíos a los países. Con esta economía global: “Se aprecia una evolución técnica de los bienes y servicios, una movilización de los flujos y modos de transporte, nuevas organizaciones funcionales en los mercados y como producto de ello, los puertos se convierten en plataformas logísticas intermodales” (Sousa, E. 2022, p. 2). Es decir, éstos se han convertido en plataformas que permiten la articulación entre diferentes modos de transporte, utilizando una medida única de carga, generalmente un contenedor.

Por otro lado, “El aumento en el tamaño de buques, acompañado de un aumento en el movimiento de contenedores ha obligado a los puertos a mejorar la manera en la que trabajan, desde la modernización de sus estructuras, hasta el cambio de las actividades en la operación. La mejora en la eficiencia portuaria y la productividad se ha convertido en un reto clave para el desarrollo de muchos países” (Sousa, E. 2022, p. 2). Esta exigencia de modernización ha generado la necesidad de renovación de todos los sistemas necesarios para las diversas etapas del proceso de llegada a las costas.

Venezuela cuenta con una costa de 2.718 kilómetros y una zona económica exclusiva de 200 millas náuticas generadas por las más de 314 islas, cayos e islotes de las dependencias federales en el Mar Caribe y el Océano Atlántico (Ver figuras 1, 2 y 3). De acuerdo al Grupo Giraud:

Los principales puertos de Venezuela son Amuay, Bajo Grande, El Tablazo, La Guaira, La Salina, Maracaibo, Matanzas (Ciudad Guayana), Palúa (Ciudad Guayana), Puerto Cabello, Puerto La Cruz, Puerto Ordaz (Ciudad Guayana) Puerto Sucre, Puerto Internacional de Guanta, Punta Carbón y Punta de Piedras. (Giraud, 2018, p. 1.



Figura 1. Muelles de la refinera Amuay.
Fuente: Petr6leos de Venezuela S.A.



Figura 2. Puerto La Guaira.
Fuente: BBC News.



Figura 3. Puerto Cabello.
Fuente: Periódico El Carabobeño.

Cabe destacar que, recientemente, en el sector marítimo de Venezuela se han consolidado alianzas público-privadas llevadas a cabo en la Rueda de Negociación de la Expo Transporte Internacional 2022, el gobierno venezolano ha apostado por fortalecer el sistema portuario a nivel nacional. Donde fueron partícipes: “El Instituto Nacional de Espacios Acuáticos (INEA), Bolivariana de Puertos (Bolipuertos), la Jefatura de Gobierno del Territorio Insular Francisco de Miranda, Corporación Venezolana de Navegación (Venavega), el Instituto Nacional de Canalizaciones (Incanal), Diques y Astilleros Nacionales (Dianca) y Conferry” (INEA, 2022). Entre estos proyectos destacan el convenio de Bolipuertos de Recuperación, Acondicionamiento y Reactivación del Puerto La Ceiba; así como la alianza de Venavega para el servicio de carga y fletamento de buques; y, el convenio de Incanal para la Fabricación de lámparas de señalización marítima y fluvial, servicios de balizamiento e hidrografía.

Como se puede observar es menester la renovación de los puertos del país y, por consiguiente, la modernización de los procesos de carga y descarga de buques. Esto ha dado paso a la necesidad de adquisición de las estructuras pertinentes para cubrir este requerimiento, las cuales consisten en una serie de estructuras de señalización y amarre, para los procesos previos y

al momento de la llegada de los buques al puerto, respectivamente. En cuanto a las estructuras de señalización se encuentran las boyas de señalización o sistema de balizamiento, las cuales permiten señalar canales navegables, peligros naturales, naufragios y todo aquello de interés para la navegación segura (Ver figura 4). También son llamadas boyas de navegación, y: “aseguran la navegación de buques de gran calado tanto en los canales estratégicos como en puertos nacionales” (VTV, 2022, p. 01)



Figura 4. Boya de señalización de orientación, Puerto Cabello, Venezuela.
Fuente: Venezolana de televisión.

Por otro lado, en cuanto a los sistemas de amarre, existen las boyas de amarre, que se definen como: “Un elemento flotante que sirve como punto de anclaje de cabos y cables de agarre de embarcaciones. Están sujetas al fondo mediante cabos y cadenas” (NauticExpo, 2022) (Ver figuras 5 y 6). Para el proceso de carga y descarga se debe fijar a la embarcación, esto solo es posible mediante el uso de boyas de amarre. De lo contrario, este proceso representaría una situación insegura debido al efecto de las corrientes de viento y el oleaje sobre el buque, además cabe destacar que para este proceso, en el caso de carga y descarga de combustible, se requiere que el barco levante una serie de mangueras del fondo del mar y, si existe algún desplazamiento de la embarcación durante este proceso, las mangueras podrían presentar roturas y fugas de combustible, lo que significa un gran impacto ambiental, por eso es de vital importancia el diseño de las boyas de amarre.



Figura 5. Boya de amarre.
Fuente: MESEMAR.



Figura 6. Boya de amarre en uso.
Fuente: MESEMAR.

Los principales exportadores de estas estructuras marítimas son Turquía y España, sin embargo, debido a complicaciones en los procesos de importación a nivel nacional, la adquisición de las estructuras requeridas no ha sido posible en los últimos años, de modo que surge la idea de diseñar un sistema de amarre para buques para la fabricación a nivel nacional.

1.1.1 Formulación del problema

Tomando en consideración lo anteriormente expuesto se plantea la siguiente inquietud:

¿Cómo se puede mejorar el proceso de amarre de un buque de hasta 30.000 toneladas al momento de carga y descarga?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un modelo de boya de amarre para embarcaciones de hasta 30.000 toneladas para el proceso de carga y descarga.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de fabricación de boyas de amarre a nivel nacional.
- Analizar las variables involucradas en el diseño de boyas de amarre.
- Seleccionar la alternativa más viable para las embarcaciones de hasta 30.000 toneladas.
- Diseñar el modelo de boya de amarre con capacidad de embarcaciones de hasta 30.000 toneladas.
- Evaluar la viabilidad económica del diseño seleccionado.

1.3 Justificación

Desde lo económico, esta investigación abre paso a la potencial fabricación posterior a nivel nacional de este sistema de amarre, con materiales de origen nacional, lo cual constituiría una alternativa más económica en comparación al proceso de adquisición de estas estructuras actualmente, la importación. Esto conllevaría, además, a la puesta en marcha de un nuevo sector económico, el encargado de llevar los procesos, que se describirán posteriormente, a cabo. Lo cual, se traduciría en un aumento considerable de vacantes laborales de un amplio espectro de conocimiento técnico.

Por otro lado, desde lo social, llevar a cabo el proceso de diseño para un sistema de amarre de buques, significa un paso más hacia la posibilidad de fabricar un tipo de estructura tan necesario para una nación como lo son aquellas relacionadas a la seguridad marítima, relacionado a lo mencionado anteriormente, este proyecto abrió paso a la investigación a fondo de este sector tan importante, lo cual puede conllevar a el resurgimiento de la industria nacional marítima.

De igual manera, desde lo técnico, esta investigación contribuyó con una serie de instrucciones y recomendaciones acerca de las características y parámetros requeridos en las diversas etapas del diseño de una boya de amarre para buques de hasta treinta mil toneladas, lo cual servirá de guía para proyectos marítimos potenciales en el futuro. Del mismo modo, este proyecto contribuye a la universidad, ya que permite el acceso a conocimiento específico de un

proceso de fabricación en la industria marítima, además contará como antecedente para futuras investigaciones, convirtiéndose así en uno de los primeros pilares para el estudio del sector marítimo en la facultad de ingeniería.

Cabe destacar que, desde lo ambiental, las estructuras flotantes como métodos de amarre contribuyen a la preservación de la fauna y flora marítima local, esto debido a que en el suelo marino solo se encuentra el contrapeso o “muerto” y, entre éste y la estructura flotante solo se encuentra un conjunto de cadenas, lo cual permite el paso libre de la fauna que allí reside. A diferencia de otros métodos utilizados para este fin, tales como las obras fijas cerradas, cuya estructura consiste en un parámetro continuo vertical de la línea de atraque, desde la superestructura hasta la cimentación, lo cual no permite el paso de agua a través de ella y significa mayor área de invasión al ambiente marino.

1.4 Alcance y limitaciones

El proyecto da inicio con el diagnóstico de la situación actual de fabricación de boyas de amarre a nivel nacional, para posteriormente analizar las variables involucradas en el proceso de diseño y observar los parámetros de diversos diseños ya existentes, y luego proceder a la selección de la alternativa más viable para las embarcaciones de hasta 30.000 toneladas. Para posteriormente, llevar a cabo el diseño junto con la simulación del mismo. Y, después, se realizó su estudio de factibilidad. Además, esta investigación no abarca la fabricación ni puesta en funcionamiento del modelo de boyas de amarre diseñado, así como su distribución sobre el territorio nacional.

Por otro lado, esta investigación se ve limitada por la dificultad de acceso a información relacionada al estado actual de las costas a nivel nacional, lo cual dificulta el diagnóstico de la situación actual, por otra parte, la información de la fabricación actual de boyas de amarre en el país es escasa. Además, en cuanto a parámetros de diseño, esta investigación abarcó la estructura de la boya, y sus dispositivos de amarre. No se realizará el diseño de accesorios o estructuras adicionales requeridas para usos específicos de este tipo de amarre de buques, principalmente debido a la estandarización y disponibilidad de éstos en el mercado, sin embargo, fueron mencionados como recomendaciones para próximas aplicaciones. Además, no se determinará la distribución de estas estructuras en las costas, debido a que depende de un estudio más extenso, el cual es realizado por el Instituto Nacional de Canalizaciones para cada ubicación donde son requeridas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Arias, señala que el marco teórico: “Es el producto de la revisión documental-bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar” (2012, p. 106).

2.1 Antecedentes

Los antecedentes de una investigación constituyen una recopilación de trabajos relacionados al tema de estudio: “Entendida como diferentes trabajos realizados por otros estudiosos sobre el mismo problema” (Palella, 2006, p.68).

Alemán, J. (2016) egresado de la Universidad Católica Andrés Bello realizó una investigación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, la cual se titula “**Comparación entre el diseño de amarres por métodos manuales y Moses**”. El objetivo principal de la investigación fue comparar los resultados de los amarres multiboyas obtenidos en el programa Moses con aquellos elaborados por medio de la utilización de métodos manuales. El estudio se fundamentó en una investigación experimental, que permitió concluir que la interfaz Moses permite el diseño y análisis de sistemas multiboyas, sin encontrarse limitadas a ellas, ya que puede ser utilizada para cualquier estructura de amarre, u operaciones de montaje y desmontaje en altamar, proporcionando un amplio rango de posibilidades para el cálculo de estructuras flotantes. El aporte de este trabajo a la presente investigación consiste en un manual del software Moses perteneciente a la empresa Bentley Ultramarine, el cual permitirá realizar cálculos referidos al diseño de una monoboja con mayor eficiencia que los métodos manuales.

De acuerdo con Sastre, M. (2016), egresado de la Universidad Politécnica de Cataluña realizó una investigación titulada “**Análisis y automatización de los sistemas de amarre de un buque**”, previa a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas y Tecnología Naval. El objetivo general de dicho trabajo de grado fue diseñar un software que: “Permitiese automatizar las operaciones de amarre y desatraque del buque” (Sastre, 2016, p.1). Esta investigación se fundamentó en una investigación de campo. Este trabajo posee diversos aspectos relevantes para la presente investigación, entre las cuales cabe destacar el estudio del uso de ganchos de liberación rápida como sustitutos de los norays actuales, lo cual da una perspectiva más amplia a las posibilidades de diseño de la boya de amarre.

Así mismo, Barreto, M. (2015) egresado de la Universidad Católica Andrés Bello realizó una investigación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, la cual se titula “**Análisis dinámico de buques atracados sometidos a fuerzas de oleaje**”. El objetivo general de esta investigación fue determinar las fuerzas de oleaje sobre un buque estático, analizando las presiones que se generan sobre el casco a través del programa WASFOR, con la finalidad de determinar los movimientos de la embarcación atracada y las fuerzas resultantes en las restricciones. Dicho estudio se fundamentó en una investigación de campo. Este trabajo provee de aportes a la presente investigación ya que, en ésta se utilizó y evaluó la eficiencia del programa SAP-2000 el cual: “Permite modelar la masa del buque, la amortiguación del agua y la resistencia de amarres y defensa, con razonable semejanza a la realidad” (Barreto, 2015, p.88), esta semejanza a la realidad permite concluir que es una herramienta apropiada para el proceso de diseño de una boya de amarre.

Por otro lado, Da Costa, D (2015) egresada de la Universidad de Puerto de Portugal, realizó una investigación previa a la obtención de maestría en estructuras de Ingeniería Civil, la cual se titula “**Estudio paramétrico de las fuerzas en sistemas de amarre para buques amarrados en puertos**”. Cuyo objetivo principal fue “desarrollar un programa que permite obtener las fuerzas de amarre de manera rápida, sencilla y confiable” (Da Costa, 2015, p.02). Esta investigación se llevó a cabo mediante la modalidad de trabajo de campo. Dicha investigación provee de elementos relevantes a este trabajo de grado, tales como la programación de una interfaz que permite determinar las fuerzas que ocurren en los cabos y defensas de un sistema de amarre bajo diversas condiciones de carga, lo que permite mejorar el criterio al momento de tomar decisiones en el proceso de diseño de una boya de amarre.

2.2 Teoría central de la investigación

La teoría de la energía de distorsión de Von Mises es una teoría de falla utilizada para predecir la falla de un material resistente: “Se usa en el dimensionamiento de las piezas de trabajo hechas de materiales resistentes, sus aplicaciones típicas incluyen ejes y estructuras de acero estructural” (Item, 2020). Esta teoría permitió desarrollar una parte de los cálculos requeridos para la selección final de la estructura de amarre, ya que permitió considerar posibles deformaciones.

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Obra de atraque y amarre.

Una obra de atraque y amarre es:

“Una estructura cuyo objetivo fundamental es proporcionar a los buques las condiciones adecuadas y seguras para su permanencia en puerto y/o para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias necesarias para las actividades de carga, descarga, estiba y desestiba, así como transbordo de pasajeros y vehículos, y que permitan su transferencia entre buques, o entre éstos y tierra u otros medios de transporte.” (Recomendaciones Para el Proyecto Y Ejecución de Obras de Atraque y Amarre ROM 2.0-11, 2011, pág.33).

Dichas obras de atraque y amarre pueden clasificarse según su tipología estructural en muelles, duques de alba, postes de amarre, multiboyas y monoboyas, soluciones mixtas y estaciones de transferencia a flote.

2.3.2 Muelles.

Los muelles son las estructuras de atraque y amarre más básicas, estas se encuentran fijas a los puertos, conforman una estructura continua con la profundidad necesaria para que los buques puedan amarrarse a estos, en promedio son construidos con una longitud de 180 metros de largo, dicha longitud tiende a exceder la eslora del buque amarrado. Estas obras se distinguen de acuerdo a su conexión a tierra, pudiendo ser por medio de puentes de acceso o mediante rellenos a lo largo de la parte posterior de las mismas, esto se conoce como explanada anexa, lo cual da lugar a la creación de explanadas traseras adosadas (Ver figura 7 y 8).



Figura 7. Ejemplo de muelle con explanada anexa.

Fuente: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre ROM 2.0-11.



Figura 8. Muelle con explanada anexa.

Fuente: OHLA.

2.3.3 Pantalanes.

Los pantalanes son estructuras de atraque y amarre, fijas o flotantes, que pueden conformar líneas de atraque continuas y discontinuas, atracables a uno o a ambos lados. Se diferencia de los muelles principalmente porque no disponen de rellenos adosados, lo cual no da lugar a la creación de explanadas. Además, estos pueden estar conectados o no a tierra, de estar conectados, la conexión se suele realizar por prolongación de la misma estructura, o mediante el uso de pasarelas o puentes (Ver figuras 9 y 10). Con respecto a los pantalanes que conforman líneas de atraque discontinuas, estos suelen ser utilizados en soluciones mixtas, es decir, estar constituidos o ser complementados con una variedad de duques de alba, de atraque y/o de amarre; plataformas auxiliares, generalmente no atracables y boyas de amarre (Ver figura 11).

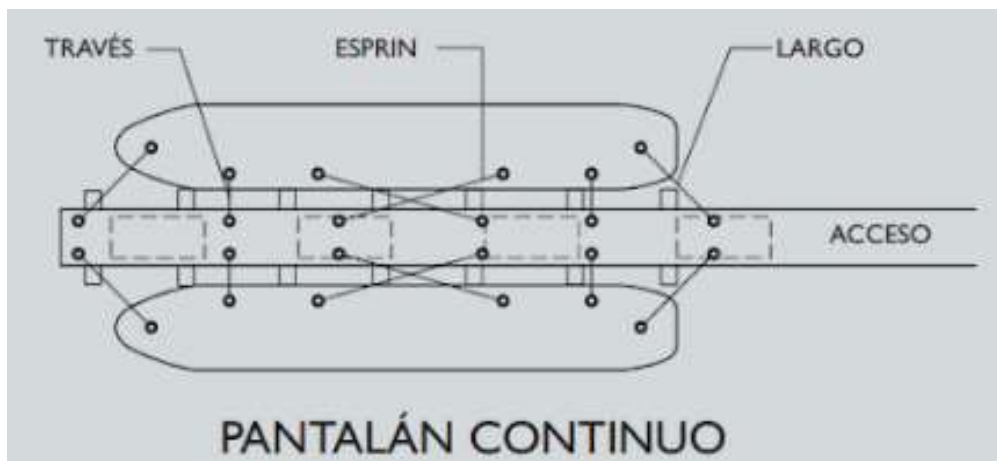


Figura 9. Ejemplo de pantalán continuo.

Fuente: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre ROM 2.0-11.

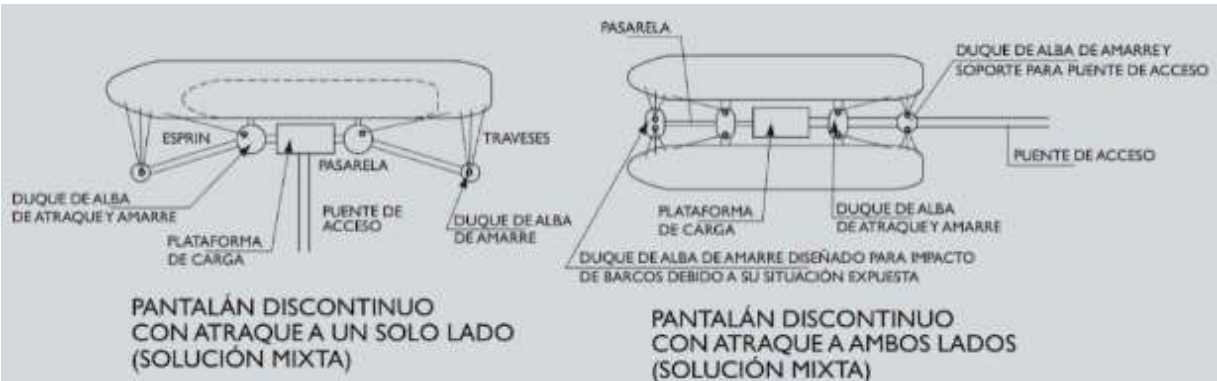


Figura 10. Pantalán discontinuo con atraque a un solo lado y a ambos lados (solución mixta).

Fuente: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre ROM 2.0-11.



Figura 11. Pantalanes.

Fuente: AISTER.

2.3.3 Duques de alba.

Los duques de alba son estructuras exentas y separadas de la costa, utilizadas como puntos de atraque, amarre, de ayuda a las maniobras de atraque, así como de variaciones de estas tres funciones simultáneamente. Pueden estar dispuestos aislados o formando parte de pantalanes discontinuos de solución mixta, así como complementando a plataformas auxiliares no atracables, formando una línea única de atraque y amarre (Ver figura 12 y 13).



Figura 12. Ejemplo de alzado tipo duque de alba.

Fuente: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre ROM 2.0-11.



Figura 13. Duques de alba.

Fuente: Ingeniatte.

2.3.4 Estaciones de transferencia.

Por otro lado, las estaciones de transferencia consisten en un buque silo dotado de medios de descarga que permite el atraque a ambos costados del mismo, tanto de buques feeder como de barcasas y buques oceánicos. Debido a que este tipo de instalación puede funcionar en zonas poco abrigadas, supone una alternativa más económica a instalaciones de transbordo en tierra (Ver figura 14).

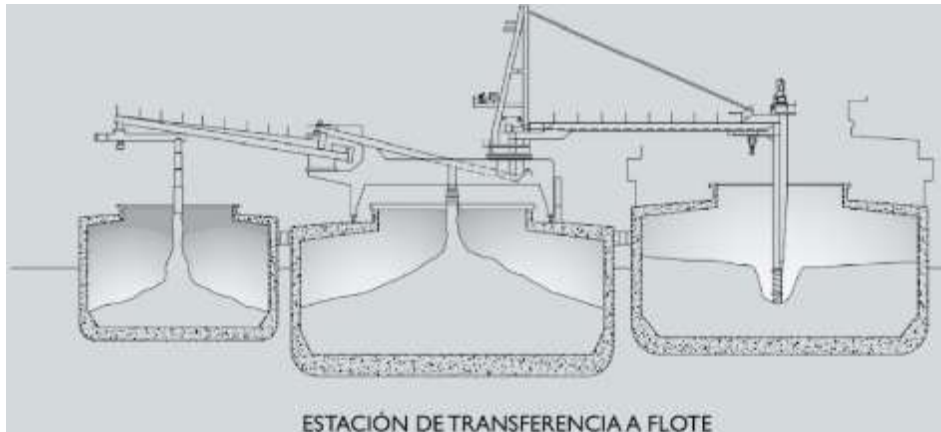


Figura 14. Ejemplo de estación de transferencia a flote.

Fuente: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre ROM 2.0-11.

2.3.5 Estructuras de amarre flotantes, boyas de amarre.

Por último, en cuanto a la clasificación de obras de atraque y amarre se encuentran las boyas, las cuales son estructuras de amarre flotantes, cuyo movimiento se ve limitado por una cadena unida a un ancla, a un muerto o ambas, los cuales suponen un punto fijo en el fondo. A una boya de amarre se le denomina monoboya cuando, adicionalmente, permite la carga y descarga de graneles al estar conectada a tierra a través de conductos submarinos (ver figura 15). En ese caso, la boya suele estar amarrada mediante varias cadenas, con el propósito de limitar al máximo sus posibles movimientos horizontales. Por otro lado, se denominan campos de boyas o sistemas multiboyas a las disposiciones que permiten el amarre de un buque a varias boyas en forma simultánea, con el objeto de limitar los movimientos del buque (Ver figura de la 16 a la 19).



Figura 15. Boya de amarre tipo monoboya.

Fuente: NauticExpo.



Figura 16. Sistema de amarre tipo multiboya.
Fuente: Orwell Offshore.



Figura 17. Sistema de amarre tipo multiboya.
Fuente: Orwell Offshore.

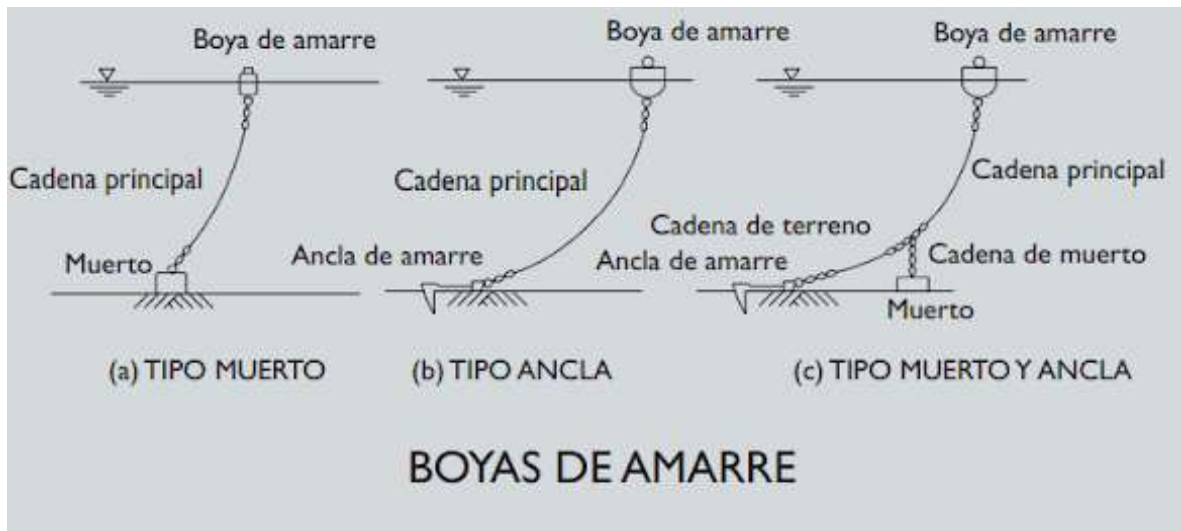


Figura 18. Ejemplo de boyas de amarre tipo muerto, tipo ancla y tipo muerto y ancla, respectivamente.

Fuente: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre ROM 2.0-11.

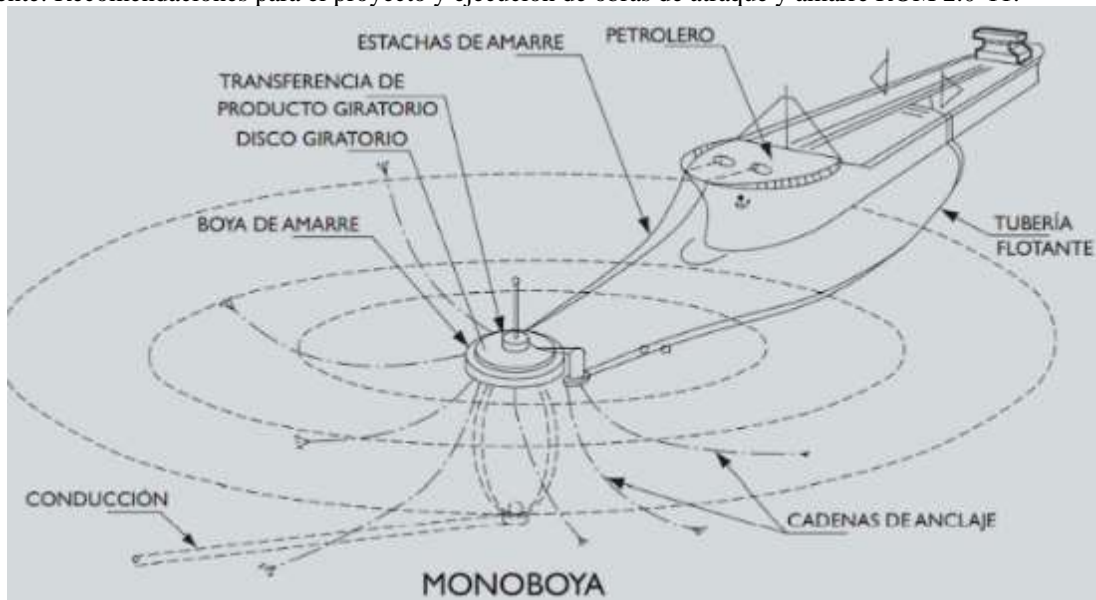


Figura 19. Partes que conforman un sistema de amarre monoboya.

Fuente: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre ROM 2.0-11.

Las boyas de amarre “están formadas por una estructura resistente generalmente cilíndrica, de acero, fibra de vidrio o material plástico, conectada a un sistema de amarre constituido por una o varias líneas de amarre compuestas por elementos flexibles como cadenas, cables, gomas elásticas, etc., los cuales se fijan al terreno a través de un ancla, muerto o pilote en función de la magnitud de las tracciones que alcancen al punto de anclaje” (Recomendaciones Para el Proyecto Y Ejecución de Obras de Atraque y Amarre ROM 2.0-11, 2011, pág.53)

Del mismo modo, éstos están constituidos por el ancla de peso muerto o “el muerto”, el cual es uno de los anclajes más antiguos por su sencillez y economía, puesto que simplemente el objetivo de éste es superar en peso a la máxima tensión esperada en la monoboya. En la actualidad se realizan con una combinación de acero y hormigón, el principal problema con este método de fabricación es el peso, lo que representa algunos problemas con el transporte. No obstante, se pueden combinar con un ancla para lograr una mayor resistencia en el sistema (Ver figura 18).

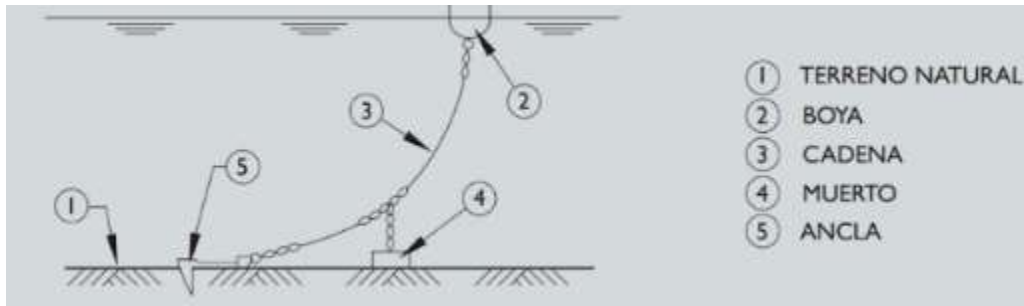


Figura 20. Estructura general de una monoboya.

Fuente: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre ROM 2.0-11.

Por otro lado, los diversos elementos de este sistema de anclaje están unidos por una serie de grilletes o conectores que en su mayoría están hechos de alguna aleación de acero, el cual está constituido por un arco que cierra mediante un perno o pasador. El diseño puede variar en su forma y en el tipo de cierre, estos cumplen una función importante debido a que en ellos existen altas concentraciones de tensión a causa de la fuerza en los puntos de anclaje, lo que con el tiempo va reduciendo su vida útil debido al deterioro.

Al momento de analizar la viabilidad del uso de una estructura de atraque y amarre específica, se deben tener en cuenta la gran diversidad de factores que influyen en su selección, entre los factores más importantes para este análisis y posterior selección destacan:

En primer lugar, se encuentran las consideraciones que hacen referencia al uso y explotación de la obra de atraque y amarre, las cuales están fundamentalmente asociadas con el tipo de buque, mercancía, necesidades de superficies y equipos de manipulación, así como los niveles de operatividad exigidos dependientes de su interacción con los agentes oceanometeorológicos. Por otro lado, también se deben tomar en cuenta la magnitud de las sobrecargas de uso y los equipos de manipulación de mercancía.

En segunda instancia, un factor fundamental para esta selección es la calidad y homogeneidad del terreno de cimentación, esto es conocido como las condiciones geotécnicas, por ejemplo, las estructuras de gravedad requieren de suelos de cimentación competentes, con

capacidad portante elevada, principalmente por condiciones de estabilidad. Estos suelos pueden ser tanto naturales como mejorados o rellenos de sustitución. Por otro lado, se deben tomar en cuenta las consideraciones morfológicas, las cuales son una combinación entre la disponibilidad de superficie en planta, las pendientes del terreno y los calados naturales que existen en la ubicación de la obra, por ejemplo, “si los calados naturales existentes son mucho mayores que los requeridos por el atraque pueden ser más convenientes las soluciones pilotadas, y las soluciones flotantes” (Recomendaciones Para el Proyecto Y Ejecución de Obras de Atraque y Amarre ROM 2.0-11, 2011, pág.57).

Además, se debe tomar en cuenta el clima marítimo en el lugar de emplazamiento. En el caso de los proyectos de obras de atraque y amarre fijas, se deberá especificar la reflectividad de la obra en función de la frecuencia del oleaje y los de las obras flotantes, las características de oscilación del flotador en función del oleaje incidente.

De igual manera, se requiere considerar los factores constructivos y de materiales, debido a la severidad del medio marino, existen limitaciones en la realización de trabajos sumergidos, debido a esto se busca la posibilidad de realizar la mayor parte del trabajo por encima del nivel de las aguas, por lo que es conveniente recurrir a soluciones que permitan ser realizadas con el mayor número de piezas prefabricadas o en seco. Del mismo modo, se recomienda el uso de soluciones simples, que permitan un grado alto de flexibilidad de aplicación de diferentes procedimientos constructivos.

Retomando de los factores constructivos y de materiales, se deben tomar en cuenta las consideraciones de conservación y mantenimiento. Debido a las dificultades y costos considerables que conllevan las operaciones de reparación y mantenimiento en el medio marino, se recomienda para las estructuras tanto de hormigón como de acero que sean diseñadas “con una estrategia de durabilidad asociada con unas características y propiedades de los materiales que favorezcan su estabilidad frente a las acciones del medio ambiente y con medidas de proyecto y constructivas que les permitan soportar adecuadamente la degradación prevista sin necesidad de considerar operaciones de mantenimiento o de reparación excesivas o dificultosas.” (Recomendaciones Para el Proyecto Y Ejecución de Obras de Atraque y Amarre ROM 2.0-11, 2011, pág.59).

2.3.5.1 Cálculos correspondientes al diseño de una boya de amarre.

Por otro lado, para la realización de los cálculos correspondientes al diseño de una boya de amarre, se debe tomar en cuenta una serie de factores previos, tales como las dimensiones del buque para el cual se diseñará, las cuales están determinadas por el tipo de buque y su capacidad, en este caso, se utilizarán las dimensiones de un buque transportador de productos petrolíferos y químicos con capacidad de 30000 toneladas a plena carga, es decir, con su capacidad máxima cargada. (Ver figura 21 y Tabla 1).

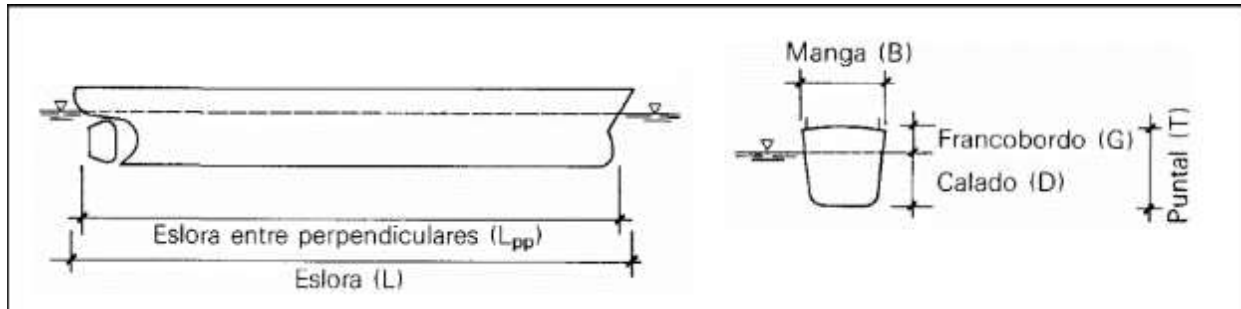


Figura 21. Leyenda de dimensiones de un buque.

Fuente: ROM 3.1-99.

Tabla 1. Dimensiones medias de buques a plena carga.

Tonelaje de Peso Muerto (TPM)	Desplazamiento (Δ)	Eslora Total (L)	Eslora entre perpendiculares (Lpp)	Manga (B)	Puntal (T)	Calado (D)	Coefficiente de Bloque
t	t	m	m	m	m	m	
Petroleros para crudo							
500,000	590,000	415.0	392.0	73.0	30.5	24.0	0.86
400,000	475,000	380.0	358.0	68.0	29.2	23.0	0.85
350,000	420,000	365.0	345.0	65.5	28.0	22.0	0.85
300,000	365,000	350.0	330.0	63.0	27.0	21.0	0.84
275,000	335,000	340.0	321.0	31.0	26.3	20.5	0.84
250,000	305,000	330.0	312.0	59.0	25.5	19.9	0.83
225,000	277,000	320.0	303.0	57.0	24.8	19.3	0.83
200,000	246,000	310.0	294.0	55.0	24.0	18.5	0.82
175,000	217,000	300.0	285.0	52.5	23.0	17.7	0.82
150,000	186,000	285.0	270.0	49.5	22.0	16.9	0.82
125,000	156,000	270.0	255.0	46.5	21.0	16.0	0.82
100,000	125,000	250.0	236.0	43.0	19.8	15.1	0.82
80,000	102,000	235.0	223.0	40.0	18.7	14.0	0.82
70,000	90,000	225.0	213.0	38.0	18.2	13.5	0.82
60,000	78,000	217.0	206.0	36.0	17.0	13.0	0.81
Transportadores de productos petrolíferos y químicos							
50,000	66,000	210.0	200.0	32.2	16.4	12.6	0.81
40,000	54,000	200.0	190.0	30.0	15.4	11.8	0.80
30,000	42,000	188.0	178.0	28.0	14.2	10.8	0.78
20,000	29,000	174.0	165.0	24.5	12.6	9.8	0.73
10,000	15,000	145.0	137.0	19.0	10.0	7.8	0.74
5,000	8,000	110.0	104.0	15.0	8.6	7.0	0.73
3,000	4,900	90.0	85.0	13.0	7.2	6.0	0.74

Fuente: ROM 3.1-99.

Métodos para la determinación de las acciones de amarre.

Para la determinación de las acciones de amarre en este caso, de obras de atraque fijas, “será suficiente analizar el comportamiento global del conjunto buque/sistema amarre/sistema defensas; es decir, no incluyendo la estructura de atraque, al no ser previsible una respuesta dinámica de estas estructuras debido a la actuación de cargas de amarre” (ROM 2.0-11, 2012, p. 359)

Los métodos que permiten el modelado y la resolución de un sistema dinámico son:

- Métodos estadísticos a partir de sistemas de amarre monitorizados.
- Modelos matemáticos.
- Modelos experimentales.

Se utilizarán los modelos matemáticos, esto debido a que:

Independientemente del método de análisis que se utilice, previamente se deberán conocer o definir las configuraciones y características iniciales de los sistemas de amarre y defensas que se van a adoptar para cada buque, situación de carga y configuración del atraque en todos los estados en los que se considere la permanencia del buque en el atraque. (ROM 2.0-11, 2012, p. 359)

Definición de la configuración y características del sistema de amarre y defensas.

Se deben tener en cuenta una serie de criterios generales:

- Número de líneas de amarre: Se tenderá a disponer el menor número posible de líneas de amarre, siendo el número máximo de éstas en el rango de 12 a 18, dependiendo del tamaño y características del buque.
- Disposición de las líneas de amarre: Serán distribuidas de forma simétrica respecto al centro geométrico del buque para amarre lateral o de costado, o respecto al eje longitudinal del buque para amarres por proa a un campo de boyas, ambas lo más lejos posible del centro geométrico del buque en el contacto buque/línea de amarre.
- Orientación de las líneas de amarre: el ángulo vertical no deberá exceder en ningún caso $\pm 25^\circ$ en los estados en los que se considere la permanencia del buque en el atraque.
- Determinar las características de las líneas de amarre.

En cuanto a la disposición óptima del sistema de amarre para buques con eslora $L \geq 25 \text{ m}$ amarrados a un campo de boyas, ésta se puede observar en la figura 22.

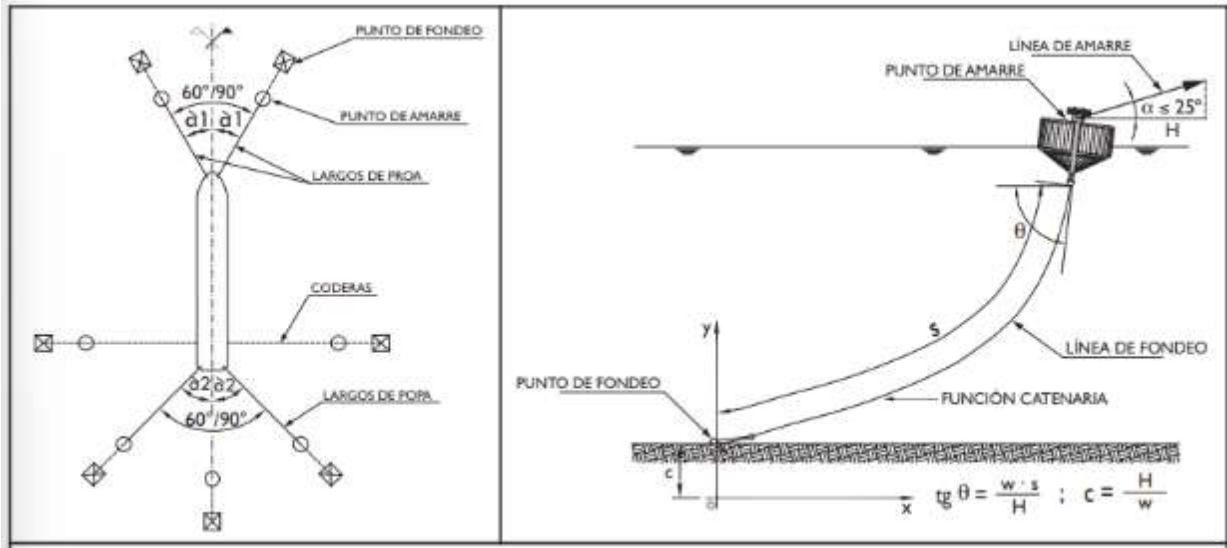


Figura 22. Disposición óptima del sistema de amarre para buques con $L \geq 25 \text{ m}$ amarrados a un campo de boyas.

Fuente: ROM 2.0-11.

Modelos matemáticos.

Se utilizará el método de modelos matemáticos para el cálculo de las fuerzas involucradas en el sistema de amarre, esto debido a que es el más preciso particularmente:

Cuando sean significativos en el emplazamiento el oleaje, las ondas largas, las corrientes longitudinales o los efectos hidrodinámicos generados por el paso de buque en tránsito que pueden actuar sobre el buque amarrado, ya que en estos casos pueden producirse amplificaciones dinámicas relevantes. (ROM 2.0-11, 2012, p. 387)

Análisis de las componentes cuasi-estáticas de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado.

Mediante este modelo, se definirán de manera simplificada las cargas máximas y mínimas sobre cada uno de los elementos, “a partir de las componentes cuasi-estáticas obtenidas como resultado de este procedimiento, por medio de coeficientes de mayoración y minoración, que estiman la amplitud de las componentes de fluctuación respecto a los valores medios” (ROM 2.0-11, 2012, p. 393). Además, para la determinación de estas componentes se puede considerar de manera simplificada que:

A los efectos de la determinación de las componentes cuasi-estáticas de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija, puede considerarse simplificada que la posición horizontal del buque respecto a la dirección de

las fuerzas actuantes se mantiene constante y coincidente con la posición teórica de reposo en que se encuentra el buque amarrado cuando no actúan los agentes climáticos y operacionales sobre el mismo. Los componentes horizontales de las resultantes debidas a la actuación de los agentes climáticos y operacionales sobre el buque amarrado pueden estimarse de acuerdo con lo consignado en los siguientes epígrafes. (2012, p. 394)

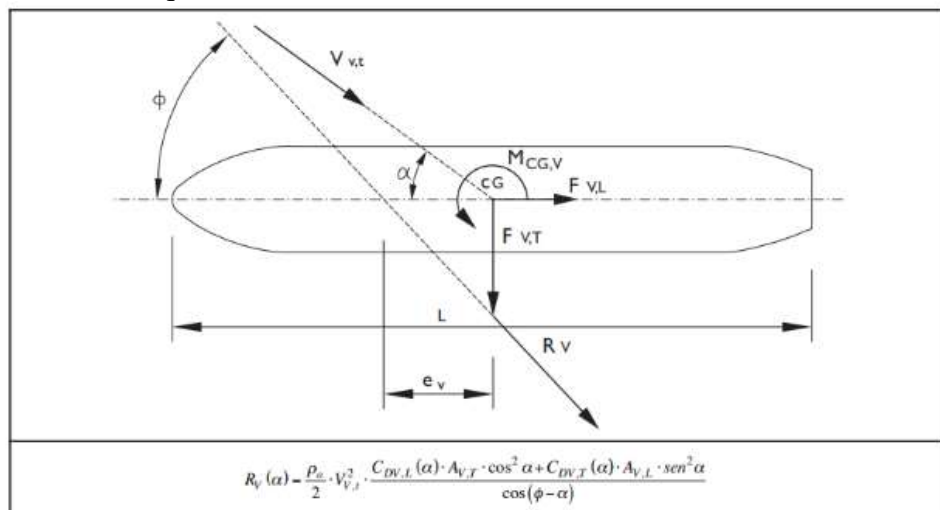
Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado.

Para determinar las fuerzas resultantes del viento en la boya se debe realizar un análisis cuasi-estático de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija.

La componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado es una fuerza de arrastre horizontal (R_V), pudiendo considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque: componente en el sentido longitudinal del buque ($F_{V,L}$), una componente en el sentido transversal del buque ($F_{V,T}$) y un momento de eje vertical ($M_{CG,V}$), debido a la excentricidad de la fuerza resultante respecto al eje de gravedad del buque. (ROM 2.0-11, 2012, p. 393)

Esta fuerza y sus componentes pueden ser determinadas mediante la formulación en la tabla 2. (Ver tabla 2).

Tabla 2. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado.



$$F_{VL}(\alpha) = R_V(\alpha) \cdot \cos \phi$$

$$F_{VT}(\alpha) = R_V(\alpha) \cdot \sin \phi$$

$$M_{CG,V}(\phi) = F_{VT}(\alpha) \cdot e_V(\alpha) = F_{VT}(\alpha) \cdot K_{Ve}(\alpha) \cdot L$$

$$\phi(\alpha) = \arctg [(A_{VL}/A_{VT}) \cdot \tan \alpha]$$

Siendo:

$R_V(\alpha)$: Fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)

$\phi(\alpha)$: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque amarrado.

$F_{VL}(\alpha)$: Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$F_{VT}(\alpha)$: Componente en sentido transversal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)

$M_{CG,V}(\alpha)$: Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque.
(kN · m)

ρ_a : Densidad del aire. En general, para el cálculo de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento sobre el buque se recomienda tomar como valor nominal de este parámetro $1,23 \cdot 10^{-3} \text{ t/m}^3$, independientemente del emplazamiento y del estado meteorológico considerado. Ello es debido a que para muchos autores con carácter general es admisible considerar que los posibles aumentos que se producen en la densidad del aire cuando arrastra altos contenidos de agua o partículas sólidas producen una reducción de la velocidad del viento para mantener su energía cinética, por lo que ambos efectos podrían compensarse a los efectos de la determinación de la fuerza de arrastre. No obstante, en aquéllos casos en los que el oleaje, la precipitación o el contenido de partículas sólidas compatible con el viento considerado sean significativos en el emplazamiento, la anterior compensación podría no ser suficientemente válida por lo que, de acuerdo con lo previsto en el apartado 4.5 de esta Recomendación, el proyectista deberá adoptar justificadamente otros valores para la densidad del aire que tengan en cuenta estos efectos, en razón de su experiencia, de ensayos realizados o de mediciones disponibles.

A_{VL} : Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal, incluyendo todos sus elementos y las cargas en cubierta, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo, no tomando en consideración la posibilidad de carga en cubierta. Para buques portacontenedores la existencia de contenedores en cubierta puede considerarse que supone aumentos de superficie del orden del 25% para buques feeder y del 20% para buques mayores. (m^2).

Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, A_{VL} podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{VL} = L_{pp} \cdot (G + h_L)$$

siendo:

L_{pp} : eslora entre perpendiculares del buque. (m)

G : francobordo del buque = puntal-calado. (m)

h_L : altura media de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano vertical paralelo que contenga al eje longitudinal del buque. (m)

Los valores nominales de los parámetros L_{pp} y G para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse a partir de los valores de L_{pp} y B correspondientes a los mismos buques a plena carga por medio de la tabla 4.6.4.33, suponiendo que el coeficiente de bloque del buque varía con la situación de la carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B). Los valores nominales usuales del parámetro h_L , sin considerar la existencia de cargas en cubierta, pueden tomarse de la tabla 4.1 de la ROM 3.1-99. Particularmente en el caso de buques portacontenedores, deberá tomarse en consideración adicionalmente la altura de estiba en cubierta correspondiente a cada situación de carga. Para aquellos buques que no estén listados en la tabla citada, el valor de h_L podrá aproximarse por medio de la anterior formulación a partir del valor de A_{VL} y de los parámetros L_{pp} y G del buque a plena carga obtenidos de la tabla 4.6.4.33.

A_{VT} : Área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo, incluyendo todos sus elementos y las cargas en cubierta, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. La posibilidad de existencia o no carga en cubierta no afecta de forma significativa a este parámetro. (m^2). Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, A_{VT} podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{VT} = B \cdot (G + h_T)$$

siendo:

B : manga del buque. (m)

G : francobordo del buque = puntal-calado. (m)

h_T : altura media de la superestructura del buque por encima de la cubierta, proyectada sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del buque. (m)

Los valores nominales de los parámetros B y G para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse de acuerdo con lo señalado a estos efectos para A_{VL} . Los valores nominales usuales del parámetro h_T pueden tomarse de la tabla 4.1 de la ROM 3.1-99. Para aquellos buques que no estén listados en la tabla citada, el valor de h_T podrá aproximarse por medio de la anterior formulación a partir del valor de A_{VT} y de los parámetros B y G del buque a plena carga obtenidos de la tabla 4.6.4.33.

$C_{DV,L}(\alpha)$: Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal. Su valor es muy variable en función de las características y forma del buque y de su situación de carga. En general está en el rango 0.90-0.40 para buques a plena carga y 1.20-0.4 para buques en lastre. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:

- Buques a plena carga
 - 0.90 para viento de proa ($\alpha = 0^\circ$)
 - 0.70 para viento de popa ($\alpha = 180^\circ$)
- Buques en lastre
 - 1.20 para viento de proa ($\alpha = 0^\circ$)
 - 1.00 para viento de popa ($\alpha = 180^\circ$)

$C_{DV,T}(\alpha)$: Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en dirección perpendicular a su eje longitudinal ($\alpha = 90^\circ$ ó 270°) Su valor es muy variable en función de las características y forma del buque y de su situación de carga. En general está en el rango 1.0-0.80 para la mayor parte de los buques, independientemente de su situación de carga. No obstante, para buques pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo el rango de variación de este factor puede ampliarse hasta 1.50-0.60. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:

- Todo tipo de buques excepto pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo: 1.00.
- Buques pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo: 1.50.

$e_V(\alpha)$: Excentricidad de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento de dirección α sobre el buque amarrado, con respecto al centro de gravedad del buque y medida sobre el plano de crujía (plano vertical que contiene el eje longitudinal del buque). Se considerará excentricidad positiva la que se produzca hacia la proa del buque. (m)

$K_{V,e}(\alpha)$: Coeficiente adimensional de excentricidad. Su valor es muy variable en función de la situación de carga del buque, así como de la posición de la superestructura del mismo en relación a la dirección de actuación del viento. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:

α (en $^\circ$)	$K_{V,e}$					
	BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A PROA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA	
	En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga
0	0	0	0	0	0	0
30	0,15	0,10	0,33	0,37	0,16	-0,10
60	0,05	0,03	0,18	0,27	0,05	-0,12
90	-0,02	0,02	-0,04	0,16	-0,04	-0,16
120	-0,10	0,10	-0,05	0,12	-0,18	-0,27
150	-0,20	0,10	-0,16	0,10	-0,33	-0,37
180	0	0	0	0	0	0

$V_{V,T}$: Velocidad horizontal máxima probable correspondiente al estado de viento, considerando un periodo de medición t , en función de las características del buque. (m/s^2). Para t se adoptará el intervalo (ráfaga) más corto capaz de vencer la inercia del buque. Simplificadamente, de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.2.1, se adoptará:

- Buques de eslora igual o mayor de 25 m: $t = 1 \text{ min}$.
- Buques de eslora menor de 25 m: $t = 15 \text{ s}$.

Como criterio general es admisible tomar para dicha velocidad la correspondiente a 10 m de altura. No obstante, si el centro de las presiones del viento sobre el buque está situado a una altura significativamente diferente a ésta se adoptará la velocidad correspondiente a la altura del centro de gravedad de la sección expuesta al viento. Esta velocidad puede obtenerse a partir de la correspondiente a 10 m de altura por medio del perfil de velocidades de viento definido en el apartado 2.1.2 de la ROM 0.4-94, así como en la tabla 4.6.2.1 de esta Recomendación.

L : Eslora total del buque. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo.

Fuente: ROM 2.0-11

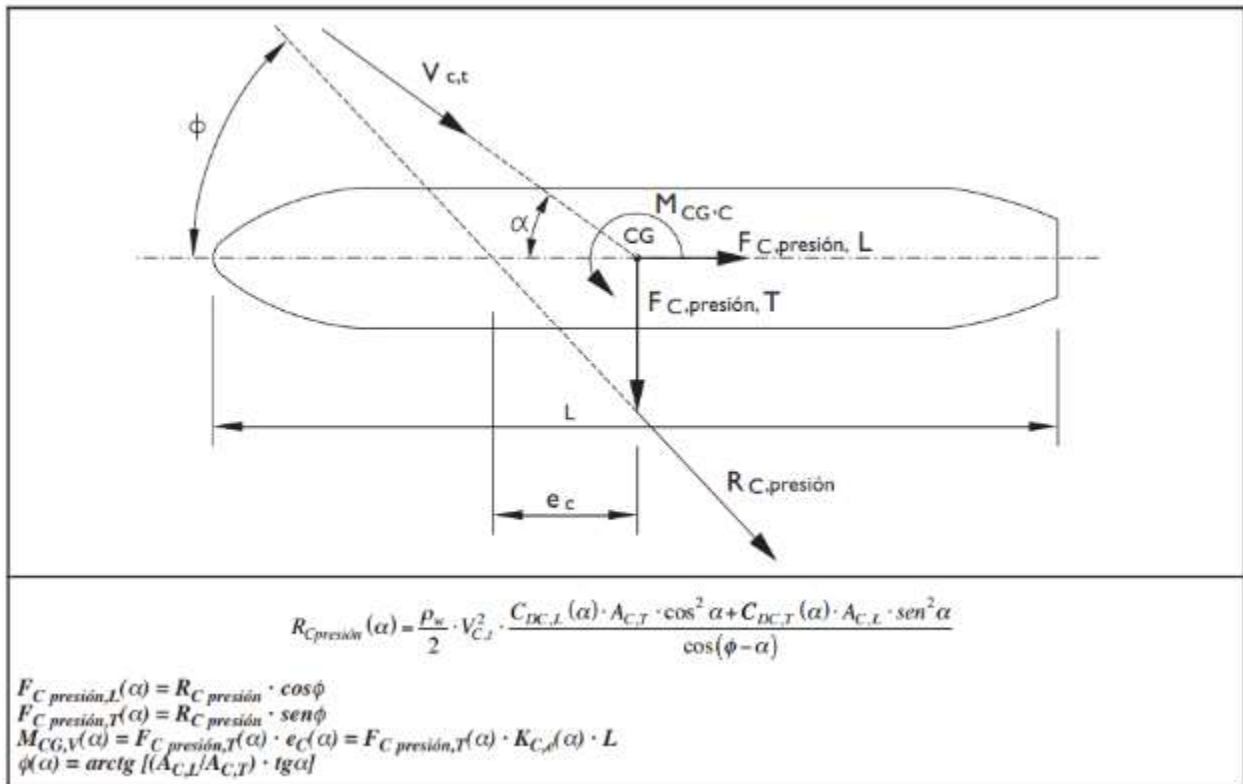
Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado.

Para determinar las fuerzas resultantes de la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado, se debe determinar la componente cuasi-estática de la resultante horizontal (R_C) de estas fuerzas.

Puede considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque: Una componente en sentido longitudinal del buque ($F_{C,L}$), una componente en sentido transversal del buque ($F_{C,T}$) y un momento de eje vertical ($M_{CG,C}$) debido a la excentricidad de la resultante horizontal de las fuerzas de presión en relación con el centro de gravedad del buque. (ROM 2.0-11, 2012, p. 397)

Esta fuerza y sus componentes pueden ser determinadas mediante la formulación en la tabla 3. (Ver tabla 3).

Tabla 3. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado.



Siendo:

- $R_{C\text{ presión}}(\alpha)$: Fuerza total de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)
- $\phi(\alpha)$: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque amarrado.
- $F_{C\text{ presión,L}}(\alpha)$: Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
- $F_{C\text{ presión,T}}(\alpha)$: Componente en sentido transversal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
- $M_{CG,C}(\alpha)$: Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque. (kNm)
- ρ_w : Densidad del agua. Podrán tomarse como valores nominales de este parámetro los definidos en el apartado 4.5 de esta Recomendación en función del emplazamiento en que se encuentre ubicada la obra de atraque y amarre. (t/m^3)
- $A_{C,L}$: Área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. (m^2)
Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, $A_{C,L}$ podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

$$A_{C,L} = L_{ij} \cdot D$$

Siendo:

- L_{ij} : eslora del buque a la altura de la línea de flotación. (m)
- D : calado del buque en la situación de carga considerada. (m)

El parámetro L_{ij} podrá considerarse del lado de la seguridad igual a L_{pp} . Los valores nominales de este parámetro y de D para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse a partir de los valores de L_{pp} y B correspondientes a los mismos buques a plena carga por medio de la tabla 4.6.4.33, suponiendo que el coeficiente de bloque varía con la situación de la carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B).

- $A_{C,T}$: Área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo, en la situación de carga considerada. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, para buques a plena carga puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. (m^2)
Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, $A_{C,T}$ podrá estimarse mediante la siguiente formulación:

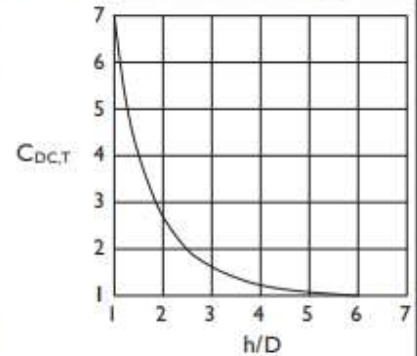
$$A_{C,T} = B_{ij} \cdot D$$

Siendo:

- B_{ij} : manga del buque a la altura de la línea de flotación. (m)
- D : calado del buque en la situación de carga considerada. (m)

El parámetro B_{ij} podrá considerarse del lado de la seguridad igual a B . Los valores nominales de B y D para buques en lastre o cargados parcialmente podrán estimarse de acuerdo con lo señalado a estos efectos para $A_{C,L}$.

- $C_{DC,T}(\alpha)$: Factor adimensional de forma para la corriente actuando sobre el buque amarrado en la dirección perpendicular a su eje longitudinal ($\alpha = 90^\circ$ ó 270°). Este coeficiente es altamente dependiente del resguardo bajo la quilla, es decir, de la relación entre la profundidad de agua y el calado del buque (h/D), incrementándose a medida que se reduce este último parámetro por efecto del mayor bloqueo del buque al flujo de corriente. En general, su valor en aguas profundas ($h/D > 6$) está en el rango 0,5-1,5. A falta de una determinación más precisa por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad podrá adoptarse con carácter general el valor 1 para aguas profundas. La variación de este coeficiente en función de la relación h/D puede obtenerse por medio de los factores de corrección determinados a partir de la siguiente figura, para cualquier forma del buque y dirección de actuación de la corriente.



- $C_{DC,L}(\alpha)$: Factor adimensional de forma para la corriente actuando sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal ($\alpha = 0^\circ$ ó 180°). Depende fundamentalmente de la geometría de la proa del buque, no teniendo prácticamente incidencia si la corriente actúa por proa o popa. En general su valor está en el rango 0,2-0,6 para buques con proa angulosa. A falta de una determinación más precisa por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, se adoptará el valor 0,2 para buques con bulbo en proa (portacontenedores) y 0,6 para buques con proa convencional. Este coeficiente no es tan dependiente del resguardo bajo quilla como $C_{DC,T}$. Únicamente para relaciones $h/D < 2$ el factor adimensional debe corregirse utilizando un coeficiente multiplicador igual a 1,5.

Para determinar el factor adimensional de forma para la corriente actuando sobre el buque amarrado en dirección transversal, se utilizó el gráfico 1.

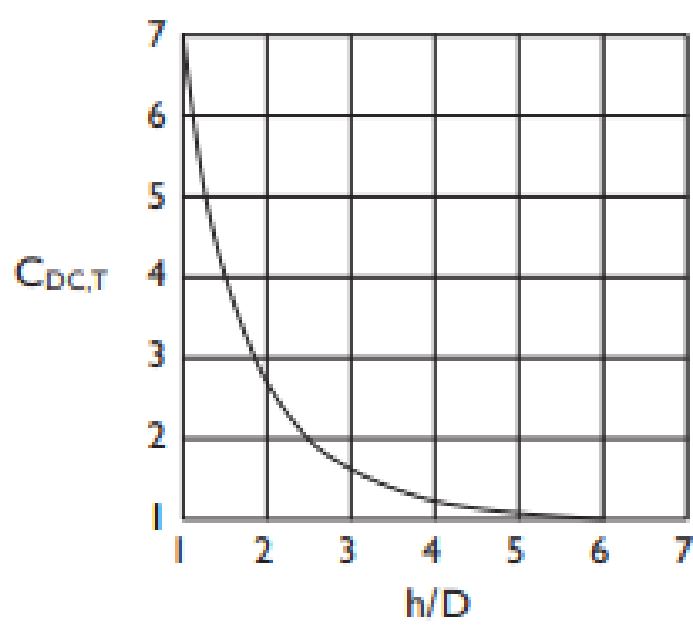


Gráfico 1. Factor adimensional para la corriente actuando sobre el buque amarrado en dirección transversal.

Fuente: ROM 2.0-11.

Tabla 3. Continuación.

Para buques que no tengan una proa angulosa, se adoptará como valor para el factor $C_{DC,L}$ el mismo que el adoptado para el factor $C_{DC,T}$.
 Ambos factores ($C_{DC,L}$ y $C_{DC,T}$) también pueden variar dependiendo de la dimensiones del área de flotación en la que se encuentra emplazada la obra de atraque y amarre. Así en canales de navegación, dársenas u otras áreas de dimensiones restringidas pueden producirse aumentos importantes de estos factores cuando el buque amarrado de lugar a reducciones significativas del área de circulación del flujo de corriente produciendo aumentos de la velocidad de la corriente.

$e_C(\alpha)$: Excentricidad de la resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque amarrado, con respecto al centro de gravedad del buque y medida sobre el plano de crujía (plano vertical que contiene el eje longitudinal del buque). Se considerará excentricidad positiva la que se produzca hacia la proa del buque. (m)

$K_{C,e}(\alpha)$: Coeficiente adimensional de excentricidad. Su valor es variable en función de la dirección de actuación de la corriente. A falta de ensayos específicos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo los siguientes valores:

α (en °)	$K_{C,e}$
0	0
30	0,17
60	0,09
90	0
120	-0,09
150	-0,17
180	0

$V_{C,t}$: Velocidad horizontal máxima probable correspondiente en el estado meteorológico considerado, adoptando un periodo de medición t igual a 10 min, independientemente de las características del buque. (m/s). Como criterio general es admisible tomar para dicha velocidad el valor medio de la misma en la carena del buque. No obstante, en aquellos casos en que los resguardos bajo quilla sean reducidos, la incidencia de la variación más acusada de la velocidad de la corriente con la profundidad que se produce en las proximidades del fondo debe tomarse en consideración. En estos casos se adoptará para V_C :

$$V_C = \sqrt{\frac{1}{D} \int_0^D [V_C(z)]^2 \cdot dz}$$

A falta de otros datos o de mediciones específicas, en el caso de corrientes de marea puede adoptarse como perfil de la velocidad de la corriente el definido en la tabla 4.6.2.1 de esta Recomendación para nivel de las aguas coincidente con el nivel medio del mar. En otros casos puede adoptarse con carácter general como perfil de la velocidad de la corriente:

$$V_C(z) = V_{C,\text{superficie}(z=h)} \left(\frac{z}{h}\right)^{\frac{1}{7}}$$

L : Eslora total del buque. A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, puede utilizarse como valor nominal de este parámetro el valor incluido en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo.

Fuente: ROM 2.0-11

Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de fricción debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado.

Esta fuerza y sus componentes pueden ser determinadas mediante la formulación en la tabla 4. (Ver tabla 4).

Tabla 4. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas de fricción debidas a la acción de la corriente sobre un buque amarrado.

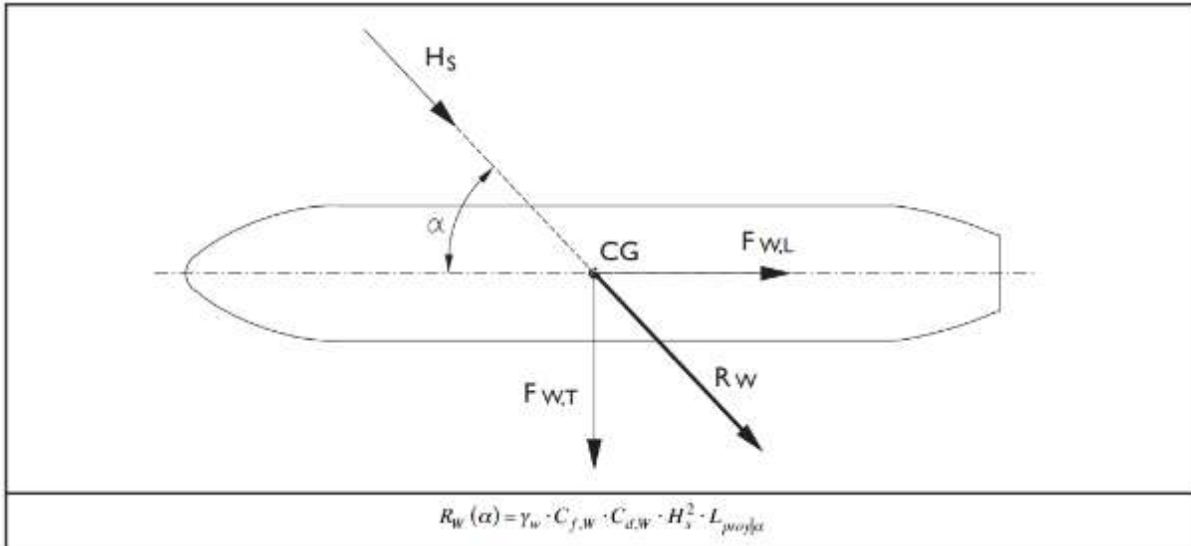
$F_{C,fricción,L}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fC} \cdot A_{fC,L} \cdot \cos^2(\alpha)$ $F_{C,fricción,T}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fC} \cdot A_{fC,T} \cdot \sin^2(\alpha)$	
$\phi(\alpha) = \arctg[(A_{fC,T}/A_{fC,L}) \cdot \tg^2(\alpha)]$	
Siendo:	
$R_{C,fricción}(\alpha)$: Fuerza total de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)
$\phi(\alpha)$: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque amarrado.
$F_{C,fricción,L}(\alpha)$: Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
$F_{C,fricción,T}(\alpha)$: Componente en sentido transversal del buque de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
$A_{fC,L}$: Área de la superficie mojada del buque en la dirección del plano de crujía, en la situación de carga considerada. (m^2). A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, este área podrá aproximarse mediante la formulación siguiente:
$A_{fC,L} = (B + 2D) \cdot L_{pp}$	
Siendo:	
L_{pp}	: eslora entre perpendiculares del buque. (m)
B	: Manga del buque. (m)
D	: Calado del buque en la situación de carga considerada. (m)
Para buques plena carga pueden utilizarse como valores nominales de estos parámetros los valores incluidos en la tabla 4.6.4.33 para cada tipo de buque en función del desplazamiento a plena carga del mismo. Para buques con desplazamiento en lastre o cargados parcialmente, D podrá estimarse a partir de los valores de L_{pp} y B correspondientes a los mismos buques a plena carga por medio de la tabla 4.6.4.33, suponiendo que el coeficiente de bloque varía con la situación de carga de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.32. B).	
$A_{fC,T}$: Área de la superficie mojada del buque en la dirección perpendicular al plano de crujía, en la situación de carga considerada. (m^2). A falta de datos más precisos correspondientes al buque considerado, esta área podrá aproximarse mediante la formulación siguiente:
$A_{fC,T} = (L_{pp} + 2D) \cdot B$	
C_{fC}	: Los valores nominales de éstos parámetros podrán estimarse de acuerdo con lo señalado a estos efectos para $A_{fC,L}$. : Coeficiente adimensional de rozamiento para la corriente. Este coeficiente es función principalmente del número de Reynolds (Re) y de la rugosidad superficial, pudiendo aproximarse por medio de la siguiente relación para buques en servicio (considerando cierta rugosidad superficial en su casco):
$C_{fC} = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$	
Los números de Reynolds para buques sometidos a la acción de corrientes de marea en áreas portuarias ($Re = V_C \cdot L_{pp} \cdot \cos \alpha / \nu$) suelen corresponder a la zona de régimen turbulento ($Re \geq 5 \cdot 10^5$), por lo que el valor de este coeficiente suele estar en el rango entre 0,001 y 0,01.	
ρ_w y $V_{C,t}$: tienen el mismo significado y los mismos criterios de determinación que los establecidos para dichos parámetros en la tabla 4.6.4.60.

Fuente: ROM 2.0-11.

Componente cuasi-estática de la resultante horizontal del oleaje sobre un buque amarrado.

Esta fuerza y sus componentes pueden ser determinadas mediante la formulación en la tabla 5. (Ver tabla 5).

Tabla 5. Componente cuasi-estática de la resultante horizontal del oleaje sobre un buque amarrado.



$$F_{W,L}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \cos\alpha$$

$$F_{W,T}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \sin\alpha$$

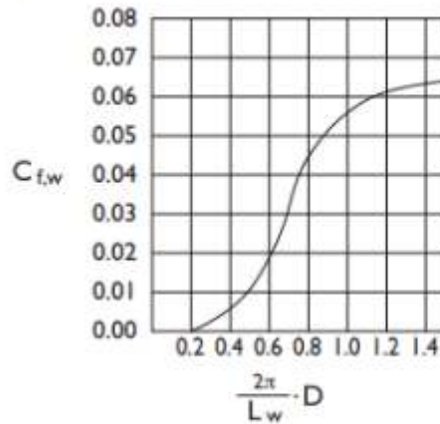
Siendo:

- $R_W(\alpha)$: Fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección de propagación α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado. (kN)
- $F_{W,L}(\alpha)$: Componente en sentido longitudinal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
- $F_{W,T}(\alpha)$: Componente en sentido transversal del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección de propagación α , aplicada en el centro de gravedad del buque. (kN)
- γ_w : Peso específico del agua. Podrán tomarse como valores nominales de este parámetro los definidos en el apartado 4.5 de esta Recomendación en función del emplazamiento en que se encuentre ubicada la obra de atraque y amarre. (kN/m³).
- H_s : Altura de ola significativa correspondiente al oleaje incidente en el emplazamiento. (m)
- $L_{proycta}$: Longitud de la proyección del buque en la dirección del oleaje incidente. (m). A falta de valores conocidos podrá aproximarse mediante la expresión siguiente:

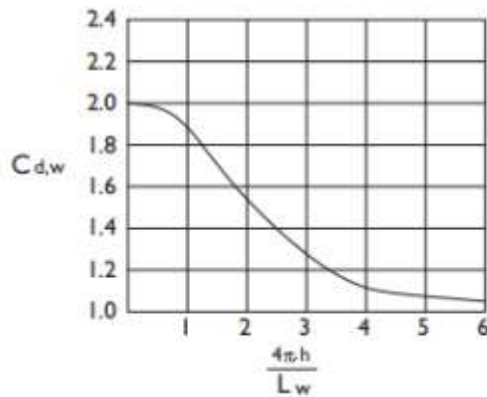
$$L_{proycta} = L_{pp} \cdot \sin\alpha + B \cdot \cos\alpha$$

Siendo:

- L_{pp} : Eslora entre perpendiculares del buque. (m)
- B : Manga del buque. (m)
- $C_{f,w}$: Coeficiente de flotación (adimensional). Este coeficiente depende de la longitud de onda (L_w) a la profundidad del emplazamiento asociada al periodo medio (Ver tabla 4.6.2.9) y del calado del buque (D). Su valor es creciente con el calado del buque y decreciente con la longitud de onda en el rango entre 0,0 y 0,07. La variación detallada de este coeficiente en función de los factores de los que depende puede obtenerse a partir de la siguiente figura:



- $C_{d,w}$: Coeficiente de profundidad relativa (adimensional). Este coeficiente es función de la profundidad relativa en el emplazamiento (h/L_w). Su valor es decreciente con el aumento de la profundidad relativa, en el rango entre 1,0-2,0. La variación detallada de dicho coeficiente en función de la profundidad relativa puede obtenerse a partir de la figura siguiente:



Fuente: ROM 2.0-11

Para la determinación de los coeficientes de flotación (adimensional) y de profundidad relativa (adimensional), se utilizarán los gráficos 2 y 3, respectivamente. Ver gráficos 2 y 3.

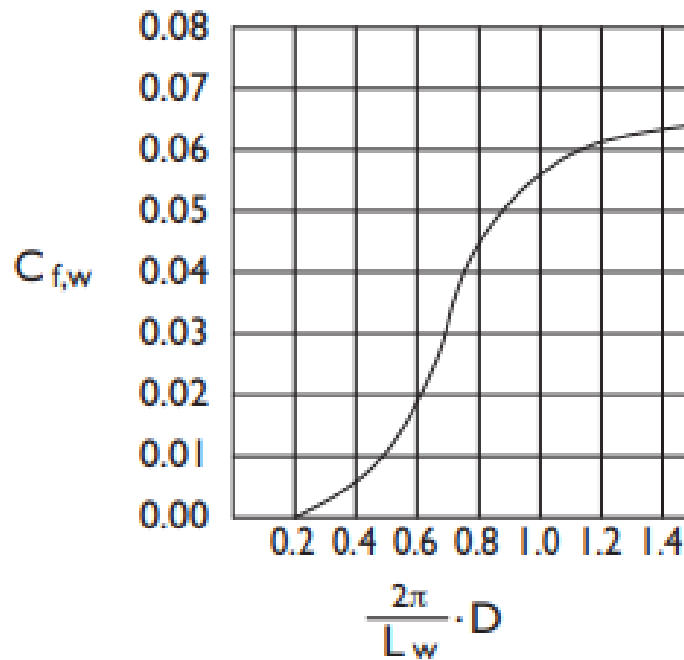


Gráfico 2. Coeficiente de flotación (adimensional).
Fuente: ROM 2.0-11.

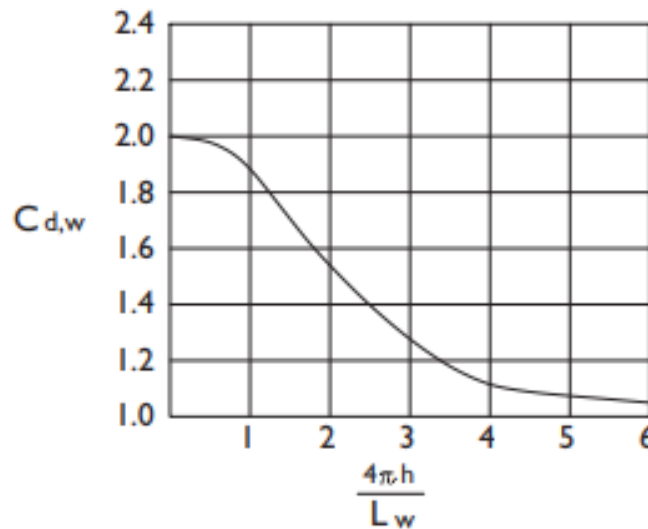


Gráfico 3. Coeficiente de profundidad relativa (adimensional).
Fuente: ROM 2.0-11.

Cargas en las amarras respecto a la pretensión inicial.

En el caso de un sistema de amarre constituido por dos puntos de amarre por proa y dos por popa (Ver figura 23), siempre que no exista destensamiento de ninguna línea de amarre:

Los incrementos (o decrementos) de las cargas en las amarras respecto a la pretensión inicial pueden obtenerse mediante la formulación de las ecuaciones de equilibrio entre la

resultante horizontal de la componente cuasi-estática de las cargas en las líneas de amarre y la componente cuasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que actúan sobre el buque. (ROM 2.0-11, 2012, p. 415)

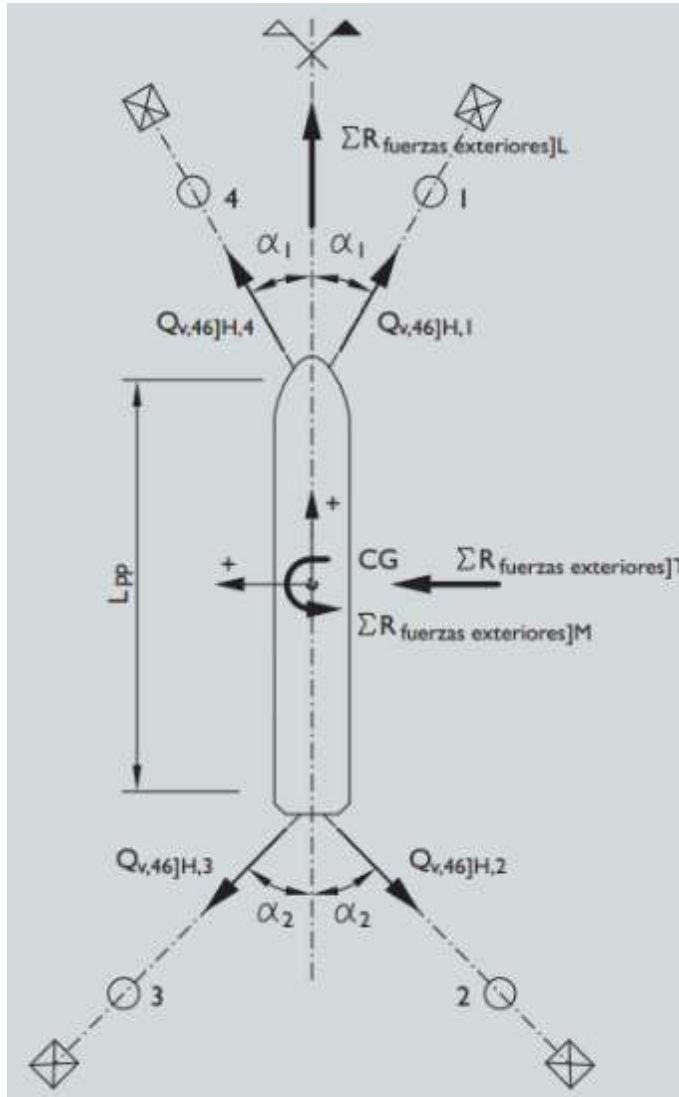


Figura 23. Esquema de cálculo para la determinación de las cargas de amarre en el caso de buque amarrado a un sistema de amarre de orientación fija constituido por dos puntos de amarre en proa y dos en popa.

Fuente: Norma ROM 2.0-11.

Estas cargas son determinadas mediante las ecuaciones 1, 2, 3 y la ecuación de simetría 4:

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]L} = (\Delta Q_{v,46]H,2} + \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \cos \alpha_2 - (\Delta Q_{v,46]H,1} + \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \cos \alpha_1$$

Ec. 1

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]T} = (\Delta Q_{v,46]H,1} - \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \sin \alpha_1 + (\Delta Q_{v,46]H,2} - \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \sin \alpha_2$$

Ec. 2

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]M} = \frac{L_{pp}}{2} [(\Delta Q_{v,46]H,1} - \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \sin \alpha_1] - (\Delta Q_{v,46]H,2} - \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \sin \alpha_2$$

Ec. 3

$$(\Delta Q_{v,46]H,2} + \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \cos \alpha_2 = -(\Delta Q_{v,46]H,1} + \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \cos \alpha_1 \quad \text{Ec. 4}$$

Fuerza de flotabilidad requerida para la boya.

Permite determinar la fuerza de flotabilidad requerida (F_{FR}) para contrarrestar las acciones medioambientales ejercidas sobre el barco y la cadena, se determinan las fuerzas que favorecen al hundimiento de la boya y se determinan sus componentes, de ser necesario, y mediante una sumatoria de esfuerzos se determina la F_{FR} .

Diseño estructural.

Acero ASTM A36.

El acero ASTM A36, es un acero de bajo contenido de carbono, lo que le permite ser mecanizado, soldado y formado con facilidad, lo cual lo convierte en un acero de usos generales muy útil. Según Metal Supermarkets C.A. “El acero A36 usualmente cuenta con pequeñas cantidades de elementos de aleación, que incluyen al manganeso, azufre, fósforo y silicio. Estos elementos de aleación se le agregan para darle al acero A36 sus propiedades químicas y mecánicas deseadas” (2023, p.01). Estas propiedades mecánicas se pueden apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

Mechanical Properties	Imperial	Metric
Ultimate Tensile Strength	58,000 – 79,800 psi	400 – 550 MPa
Yield Tensile Strength	36,300 psi	250 MPa
Elongation at Break (in 200 mm)	20.0%	20.0%
Elongation at Break (in 50 mm)	23.0%	23.0%
Modulus of Elasticity	29,000 ksi	200 GPa
Bulk Modulus (Typical for steel)	20,300 ksi	140 GPa
Poissons Ratio	0.260	0.260
Shear Modulus	11,500 ksi	79.3 GPa

Fuente: Metal Supermarkets C.A.

Espesor de las láminas de acero.

Según la norma ABS para Single Point Moorings, apartado 9.1 “Revestimiento”, sección 9.1.1 Revestimiento e impermeabilidad del casco: “El revestimiento del casco deberá ser del espesor derivado de la siguiente ecuación: $t = \left(\frac{sk\sqrt{qh}}{254}\right) + 2,5 \text{ mm}$ (Ec. 5) pero no menor que 6,5 mm (0,25 in) o $\frac{s}{150} + 2,5 \text{ mm}$, el que sea mayor.” (2021, p. 39).

Donde:

$t = \text{espesor en mm (in)}$

$s = \text{Distancia entre refuerzos en mm (in)}.$

$$k = \frac{3,075\sqrt{\alpha} - 2,077}{\alpha + 0,272} \text{ si } (1 \leq \alpha \leq 2) \text{ ó } = 1 \text{ si } (\alpha > 2)$$

$\alpha = \text{Relación de dimensiones del panel } \left(\frac{\text{borde más largo}}{\text{borde más corto}}\right)$

$$q = \left(\frac{235}{Y} \text{ N/mm}^2\right), \left(\frac{24}{Y} \text{ kgf/mm}^2\right), \left(\frac{34000}{Y} \text{ psi}\right)$$

$Y = \text{Límite elástico o 72\% de la mínima resistencia a la tracción en } \text{N/mm}^2 \left(\text{kgf/mm}^2, \text{psi}\right),$
cual sea el menor.

$h = \text{Para revestimiento, la distancia mayor en m (ft), desde el borde más bajo hasta un punto definido por las siguientes condiciones:}$

- i. Espacio de compartimiento vacío. Donde el espacio interno sea un compartimiento vacío.
- ii. Área sujeta a inmersión por olas. La altura mayor sumergida durante la situación menos favorable para la cual se diseñó, o 1,0m (3,28 ft), el que sea mayor.

Refuerzos y vigas.

Según la norma ABS para Single Point Moorings, apartado 9.3 “Refuerzos y Vigas”: “El módulo de la sección de cada refuerzo o viga en asociación con el revestimiento al que está unido, no deberá ser menor al obtenido por la siguiente ecuación: $SM = Qfchs\ell^2 \text{ cm}^3(\text{in}^3)$ ” (Ec. 6) (2021, p. 39).

En la ecuación X:

$$SM = Qfchs\ell^2 \text{ cm}^3(\text{in}^3) \text{ (Ec. 6)}$$

Donde:

$SM = \text{Módulo de la sección}$

$f = 7,8$ (ó 0,0041 en el sistema inglés)

$c = 1$ para refuerzos sujetos en ambos extremos por vigas

h = Distancia vertical en m desde la mitad de la longitud ℓ hasta la misma altura donde se mide el factor h para revestimiento.

s = Distancia entre refuerzos en m

ℓ = Distancia en m entre apoyos. Donde los soportes están fijados a la estructura.

Q = Factor de resistencia del material:

= 1 para aceros medios

= 0,78 para H32

= 0,72 para H36

= 0,69 para H40

Acero ASTM A53.

La norma ASTM A53, según Octal Aceros C.A: “Es la especificación estándar para el tubo de acero al carbono utilizado en tuberías sin costura, con soldadura (o con costura), y galvanizadas con revestimiento de zinc” (2022), sus propiedades químicas y mecánicas pueden observarse en la tabla 7.

Tabla 7. Propiedades químicas y mecánicas del acero ASTM A53.

Chemical Composition									
Grade	Max, %								
	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Copper	Nickel	Chromium	Molybdenum	Vanadium
Type S (seamless pipe)									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Grade B	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Type E (electric-resistance-welded)									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Grade B	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Type F (furnace-welded pipe)									
Grade A	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
Mechanical Properties									
Strength		Grade A			Grade B				
Tensile strength, min, psi [MPa]		48 000 [330]			60 000 [415]				
Yield strength, min, psi [MPa]		30 000 [205]			35 000 [240]				
Elongation in 2 in. or 50 mm		e = 625 000 [1940] A ^{0.2} /U ^{0.9}							

Fuente: Octal Aceros C.A.

Diseño de soldadura.

Las uniones soldadas fueron diseñadas a partir de las normas de la Sociedad Americana de soldadura (AWS) D1.1 Código de soldadura para acero estructural, de esta norma destaca la sección 5, parte E, párrafo 5.6.1 Resistencia del metal de aporte, la cual especifica que: “Las siguientes relaciones de resistencia metal base/metal de aporte se deben utilizar junto con las Tablas 5.3 y 5.4 para determinar si se requieren metales de aporte de la misma resistencia o de resistencia menor”. (p. 65, 2020). Ver tablas 8, 9 y 10.

Tabla 8. Relación de resistencia de metal base y metal de aporte.

Relación	Metal(es) base	Relación de resistencia requerida del metal de aporte
Igual resistencia	Cualquier acero a sí mismo o cualquier acero a otro en el mismo grupo	Cualquier metal de aporte enumerado en el mismo grupo
	Cualquier acero en un grupo a cualquier acero en otro	Cualquier metal de aporte listado para cualquiera de los grupos de resistencia. Los electrodos SMAW deben corresponder a la clasificación de bajo hidrógeno
De menor resistencia	Cualquier acero con cualquier acero de cualquier grupo	Cualquier metal de aporte enumerado en un grupo de resistencia por debajo del grupo de menor resistencia. Los electrodos SMAW deben corresponder a la clasificación de bajo hidrógeno

Nota: Ver Tabla 4.3 or 10.2 para determinar los requisitos de resistencia del metal de aporte para igualar o ser menor que la resistencia del metal base.
Fuente: AWS D1.1.

Tabla 9. Metales aprobados para WPS precalificadas.

Metales base aprobados para WPS precalificadas (ver 5.3)					
G R U P O	Requisitos de la especificación del acero				
	Especificación del acero	Punto/limite elástico mínimo		Rango de tracción	
		ksi	MPa	ksi	MPa
	ASTM A36	≤ 3/4 pulg. [20 mm]	36	250	58–80 400–550
	ASTM A53	Grado B	35	240	60 min. 415 min.
	ASTM A106	Grado B	35	240	60 min. 415 min.
	ASTM A131	Grados A, B, D, E	34	235	58–75 400–520
	ASTM A139	Grado B	35	240	60 min. 415 min.
	ASTM A381	Grado V35	35	240	60 min. 415 min.

Fuente: AWS D1.1.

Tabla 10. Metales de aporte para los materiales de la tabla anterior.

Tabla 5.4 Metales de aporte para las resistencias coincidentes en Tabla 5.3, metales de los Grupos I, II, III y IV—SMAW y SAW (ver 5.6)					
Grupo de metal base	Especificación de AWS del electrodo	SMAW		SAW	
		A5.1, Acero al carbono	A5.5 ^a , Acero de baja aleación	A5.17, Acero al carbono	A5.23 ^a , Acero de baja aleación
I	Clasificación del electrodo de AWS	E60XX E70XX	E70XX-X	F6XX-EXXX F6XX-ECXXX F7XX-EXXX F7XX-ECXXX	F7XX-EXXX-XX F7XX-ECXXX-XX

Tabla 5.4 (continuación)
Metales de aporte para resistencias coincidentes en Tabla 5.3, metales de Grupo I—FCAW y GMAW con núcleo de metal (ver 5.6)

Grupo de metal base	Especificación de AWS del electrodo	PROCESO(S) DE SOLDADURA					
		GMAW		FCAW		GMAW y FCAW con acero al carbono	GMAW y FCAW con acero al carbono y de baja aleación
		A5.1L, Acero al carbono	A5.28, Acero de baja aleación	A5.20, Acero al carbono	A5.29, Acero de baja aleación	A5.36, Clasificación fija ^a	A5.36 ^b , Clasificación abierta ^c , Ver Nota 8 del Apéndice M
I	Clasificación del electrodo de AWS	ER70S-X E70C-XC E70C-XM (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS)	ER70S-XXX E70C-XXX	E7XT-X E7XT-XC E7XT-XM (Los electrodos con el sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14 y -GS se excluirán, y los electrodos con el sufijo -11 se excluirán para espesores mayores a 1/2 pulg. [12 mm])	E6XTX-X E7XTX-X E6XTX-XC E7XTX-XM E7XTX-XC E7XTX-XM	FCAW con acero al carbono E7XT-1C E7XT-1M E7XT-5C E7XT-5M E7XT-9C E7XT-9M E7XT-12C E7XT-12M E70T-4 E7XT-6 E7XT-7 E7XT-8 (No se incluyen los electrodos con núcleo fundente con sufijos T15, T38, T10S, T14S y -GS ni los electrodos con sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulg. [12 mm]) GMAW con acero al carbono con núcleo de metal E70C-6M (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS) (NOTA: A5.36 no tiene clasificaciones fijas para otros electrodos con núcleo de metal de acero al carbono o para electrodos con núcleo de fundente de acero de baja aleación o con núcleo de metal)	FCAW con acero al carbono E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-XAX-CS3 GMAW con acero de baja aleación E6XTX-XAX-XXX E7XTX-XAX-XXX GMAW con acero al carbono con núcleo de metal E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS) GMAW con acero de baja aleación con núcleo de metal E7XTX-XAX-XXX

Fuente: AWS D1.1.

Por otro lado, la norma AWS D1.1 indica las características, de ser necesario, de las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas, como se observa en la tabla 11, de la cual se concluye además que para los aceros seleccionados no se requieren dichos tratamientos térmicos. A su vez, indica las posiciones de soldadura de filete, de las cuales se utilizaron las posiciones 2F, 3F y 4F para la estructura externa y la 2F y 4F para la unión del eje central con la estructura, éstas se pueden observar en las figuras 24 y 25, respectivamente.

Tabla 11. Temperatura de precalentamiento y entre pasadas.

Tabla 5.3
Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas (ver 5.7)

C A T E G O R Í A	Especificación del acero	Proceso de soldadura	Espesor de la parte más gruesa del punto de soldadura		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas		
			pulg.	mm	°F	°C	
A	ASTM A36	SMAW con electrodos que no sean de bajo hidrógeno	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32°	0°	
	ASTM A53						Grado B
	ASTM A106						Grado B
	ASTM A131						Grados A, B, D, E
	ASTM A139						Grado B
	ASTM A381						Grado Y35
	ASTM A500						Grados A, B, C
	ASTM A501						Grado A
	ASTM A516						Grados 55, 60
	ASTM A524						Grados I, II
	ASTM A573						Grados 58, 65
	ASTM A709						Grado 36
	ASTM A1008 SS						Grado 30
							Grado 35 Tipo I
							Grado 40 Tipo I
	ASTM A1011 SS						Grados 30, 33
							Grado 36 Tipo I
							Grado 40
ASTM A1018 SS	Grados 30, 33, 36, 40						
	Grado 45 Tipo I						
API 5L	Grados B, X42						
ABS	Grados A, B, D, E						
B	ASTM A36	SMAW con electrodos de bajo hidrógeno, SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	50	10	
	ASTM A53						Grado B
	ASTM A106						Grado B
	ASTM A131						Grados A, B, D, E
							AH 32, 36
							DH 32, 36
							FH 32, 36
	ASTM A139						Grado B
	ASTM A381						Grado Y35
	ASTM A500						Grados A, B, C
	ASTM A501						Grados A, B
	ASTM A516						Grados 55, 60, 65, 70
	ASTM A524						Grados I, II
	ASTM A579						Grados 50, 55
	ASTM A537						Clases I, 2
	ASTM A572						Grados 42, 50, 55
	ASTM A573						Grados 58, 65
	ASTM A588						
ASTM A595	Grados A, B, C						

Fuente: AWS D1.1.

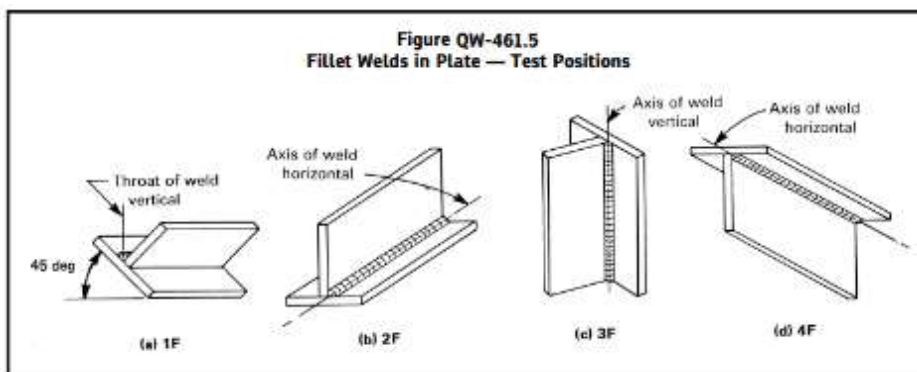


Figura 24. Posiciones de soldadura de filete entre láminas.

Fuente: AWS D1.1.

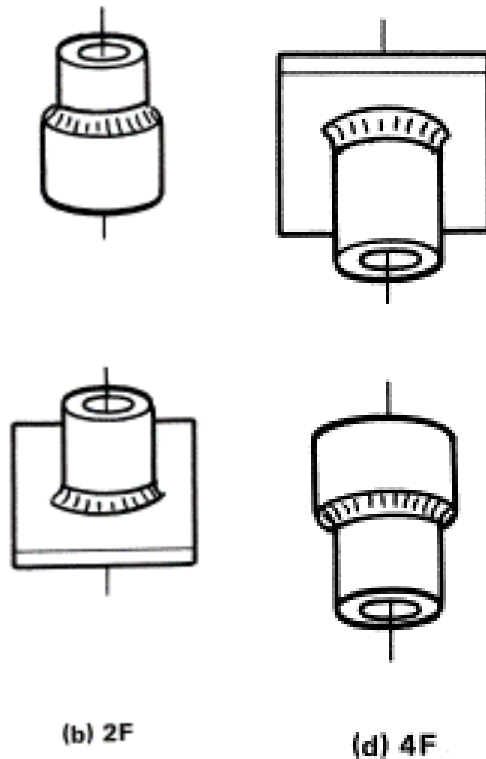


Figura 25. Soldadura de filete en unión entre tuberías y tubería-lámina.
Fuente: AWS D1.1.

2.4 Bases Legales

La presente investigación es sustentada por la **Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN)**, ente encargado de velar por la estandarización y normalización bajo lineamientos de calidad en Venezuela. COVENIN establece los requisitos mínimos para la elaboración de procedimientos, materiales, productos, actividades y demás aspectos que estas normas rigen. En esta comisión participaron entes gubernamentales y no gubernamentales especialistas en un área. De esta institución destaca la norma 1618:1998 para “Estructuras de acero para edificaciones”, debido a que la estructura fue diseñada con acero estructural.

Por otro lado, siguiendo con las normas internacionales por las que se rige la investigación cabe mencionar la **American Bureau of Shipping (ABS)**, una sociedad de clasificación cuya misión es buscar el interés general promoviendo la seguridad de la vida humana y propiedades, así como la protección del entorno natural marino por medio del desarrollo y verificación de estándares para el diseño, construcción y mantenimiento de buques y plataformas offshore, de ésta destaca la Norma “Single Point Moorings”, en especial la parte 3 “Diseño de sistemas de amarre”, capítulo 2 “Diseño”, sección 2 “Diseño estructural” de ésta. Además, el **Instituto Americano de Construcción con Acero (AISC)**, un instituto técnico sin fines de lucro y asociación comercial

para el uso de acero estructural en la industria de construcción, así como el **Instituto Nacional de Estándares (ANSI)**, organización sin fines de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas. De los dos institutos anteriormente mencionados destaca la norma “ANSI/AISC 360-10 para construcciones de acero”, donde se determinan los parámetros de diseño para la estabilidad de la estructura y los parámetros que deben cumplir sus diversos componentes de acuerdo a los esfuerzos que experimentan.

Del mismo modo en cuanto a las normas internacionales, la **Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME)**, asociación de profesionales que ha creado un código de diseño, construcción, inspección, y pruebas de equipos, en este caso cabe mencionar la norma “Sección 5 Código ASME para calderas y recipientes a presión”. Además, la **Organización Internacional de Clasificación (ISO)**, una organización no gubernamental cuya principal actividad es la elaboración de normas técnicas de vigencia internacional, de esta organización destaca la norma “ISO 15614-1:2017 Especificación y cualidades de procedimientos de soldadura para materiales metálicos”, donde se explican las especificaciones requeridas para realizar procesos de soldadura por arco y gas en aceros. Además, destaca la **American Welding Society**, con la norma AWS D1.1 Código de soldadura estructural – Acero, que determina las especificaciones para llevar a cabo distintos tipos de soldadura en acero estructural.

2.5 Definición de Términos Básicos

Barcazas: Artefacto naval, con o sin propulsión propia, con casco de fondo plano y poco calado, que se emplea para el transporte marítimo de mercancías y pasajeros entre costas cercanas.

Buques feeder: Es un barco portacontenedores de dimensiones reducidas y que permite alimentar a otros buques más grandes. Se utilizan para repartos y recogidas de contenedores en puertos más pequeños.

Eslora: Dimensión de un barco tomada a lo largo del eje de proa hasta popa.

Estibar: Colocación conveniente de los pesos de un buque, y en especial de su carga.

Flotabilidad: Es la capacidad de un cuerpo para sostenerse dentro de un fluido. Es una fuerza ascendente ejercida por un fluido que se opone al peso de un objeto parcial o totalmente sumergido.

Homogeneidad: Que está compuesto por elementos muy similares o de igual naturaleza.

Oleaje: Es una serie de ondas de gravedad mecánicas o de superficie generada por sistema meteorológicos distantes que se propagan a miles de kilómetros a través de océanos y mares.

Pilote: Es un tipo de cimentación profunda de tipo puntual, que se hinca en el terreno buscando siempre el estrato resistente capaz de soportar las cargas transmitidas.

Popa: Parte trasera de una embarcación.

Proa: Parte delantera de una embarcación.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Balestrini (2006), señala que el marco metodológico, está referido al momento que alude al conjunto de procedimientos lógicos, tecno-operacionales implícitos en todo proceso de investigación con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados. Para Arias (2012), este “incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el "cómo" se realizará el estudio para responder al problema planteado” (p. 111).

3.1 Enfoque de la investigación.

Esta investigación tiene un enfoque tecnológico, según Rincón:

“Como resultado de una investigación tecnológica se obtienen conocimientos que establecen con detalle: acciones, requisitos, características, diseño, materiales, costos, responsables, métodos, instrumentos, y demás circunstancias, que describen el qué y el cómo, con lo que se promueve el logro de los objetivos, generalmente predeterminados en el área de producción” (2011)

3.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación, orienta la finalidad general del estudio y la manera como se recogerán los datos necesarios. Para seleccionar el tipo de investigación se debe considerar el propósito, las estrategias, los objetivos, el problema de estudio y otros aspectos en los que se encuentran inmersos la investigación. Metodológicamente, existe una gran variedad de tipología que va hacer definida por la investigadora una vez que se establezca la relación entre el objetivo que se quiere alcanzar y el tipo de investigación, pues existe entre éstos una relación intrínseca. Tal como menciona Balestrini (2006), “el investigador debe ubicar en sus estudios, en la tipología que mejor se adapte a la investigación y que cumpla con el propósito planteado” (p.129).

Para diseñar un modelo de boya de amarre para embarcaciones de hasta 30.000 toneladas para el proceso de carga y descarga, la investigación será de tipo proyecto factible, según Balestrini (2006), los proyectos factibles son “aquellos proyectos o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática real planteada, la cual fue sometida con anterioridad o estudios de las necesidades a satisfacer” (p.9). Por lo tanto, un proyecto factible según Arias, (2012) expresa que: “se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico” (p.134).

3.3 Diseño de la Investigación

De acuerdo a Balestrini (2006), el diseño de investigación se define como “el plan global de investigación que integra de un modo coherente y adecuadamente correctas técnicas de recolección de datos a utilizar” (p.118). Arias (2012), señala que el diseño de investigación “es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado” (p.47). de esta manera, el estudio estará bajo un diseño documental y de campo. La investigación de campo es aquella que consiste en “la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera condiciones existentes” (Arias, 2016, p. 31). Mientras que, la investigación documental es “un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas” (Arias, 2016, p. 27).

3.4 Nivel de la investigación

De acuerdo a Arias el nivel de investigación se refiere al “grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (2016, p. 23). Según su naturaleza la presente investigación estará bajo un nivel descriptivo, el cual “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de conocer su estructura o comportamiento” (Arias, 2016, p. 24). Por otro lado, Palella señala que la investigación descriptiva “incluye descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (2006, p. 102).

3.5 Población y muestra

De acuerdo a Arias, la población es un “conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de investigación” (2012, p.81). Por lo cual, recomienda delimitarla con claridad y precisión, siendo preferiblemente finitas tomando en cuenta el tiempo y recursos limitados, sin dejar de lado que, si el número de elementos que la conforman resulta accesible, puede llevarse a cabo un censo poblacional. Bernal señala que la población es “la totalidad de elementos o individuos que tienen ciertas características similares y sobre las cuales se desea hacer inferencia. Mientras que la muestra es la parte de esa población que se selecciona y sobre la cual se efectuara la medición y observación de las variables” (2011,

p. 90).

En la presente investigación se tomará como población a los sistemas de amarre mediante boya de amarre, de tal forma que, por ser una población finita, se tomará como muestra a la población. Por otro lado, se tomarán artículos de revistas indexadas y documentos de repositorios institucionales como fuentes secundarias de información para el desarrollo del estudio.

3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para Arias, “se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (2016, p.67). La aplicación de una técnica conlleva a la obtención de información, la cual para poder ser recuperada y analizada posteriormente se debe guardar en un medio material, a este medio se le denomina instrumento, para Arias “un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (2016, p.68).

En este orden de ideas Hurtado (2015) señala, “la selección de técnicas e instrumentos de recolección de datos implica determinar por cuáles medios o procedimientos el investigador obtendrá la información necesaria para alcanzar los objetivos de la investigación” (p.164). Es decir; las técnicas e instrumentos de recolección de datos conducen al logro de los objetivos planteados, cada tipo de investigación determina cuáles serán los instrumentos más apropiados, como lo afirma “las técnicas de recolección de información comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a la pregunta de la investigación” (p.409). De esta forma, para diseñar un modelo de boya de amarre para embarcaciones de hasta 30.000 toneladas para el proceso de carga y descarga, se empleará como técnica de recolección de datos la observación directa y la revisión documental.

La observación directa según Palella “es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (2006, p. 69). Para esta técnica de recolección de datos se utilizarán instrumentos como cuaderno de notas y cámara fotográfica. Por otro lado, la revisión documental consiste en análisis de documentos existentes mediante el uso de libros físicos y computadoras.

3.7 Técnicas de Análisis de Resultados

Para Sabino (2006), “al análisis ejecutado sobre la información de tipo verbal que se ha recogido mediante las técnicas aplicadas para ello, este se efectúa cotejando los datos que se

refieren a un mismo aspecto y evaluando la fiabilidad de cada información” (p.122). En tal sentido, se desarrolló el instrumento de análisis de datos denominado análisis de contenido que de acuerdo a la opinión de Hernández, Fernández y Baptista (2015), se efectúa por medio de la codificación, que es el proceso a través del cual las características relevantes del contenido de un mensaje son transformadas a unidades que permitan su descripción y análisis preciso. Lo importante del mensaje se convierte en algo susceptible de describir y analizar.

3.8 Fases Metodológicas

Con el propósito de diseñar un modelo de boya de amarre para embarcaciones de hasta 30.000 toneladas para el proceso de carga y descarga, se llevaron a cabo las siguientes fases:

Fase I. Diagnosticar la situación actual de fabricación de boyas de amarre a nivel nacional:

En la siguiente fase, se realizó un diagnóstico de la situación actual de fabricación de boyas de amarre a nivel nacional a través de la observación documental, se realizó además una consulta bibliográfica de la posible temática a tratar considerando varios artículos científicos y estudios de repositorios institucionales nacionales.

Fase II. Analizar las variables involucradas en el diseño de boyas de amarre: De la misma manera, se procedió a analizar las variables involucradas en los diversos diseños ya existentes de boyas de amarre, a través de la revisión documental.

Fase III. Seleccionar la alternativa más viable para las embarcaciones de hasta 30.000 toneladas: En esta fase fue seleccionada la alternativa más viable para las embarcaciones de 30.000 toneladas, resultados que se obtuvieron a través de la observación directa y la revisión documental previa.

Fase IV. Diseñar el modelo de boya de amarre con capacidad de embarcaciones de hasta 30.000 toneladas: Por último, se procedió a diseñar el modelo de boya de amarre con capacidad de embarcaciones de 30.000 toneladas, en esta fase se llevó a cabo el programa de simulación 3D SolidWorks, es una herramienta que utiliza el método de análisis de elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés), le proporciona las herramientas para predecir el comportamiento físico real de un producto mediante pruebas virtuales de modelos CAD.

Fase V. Evaluar la viabilidad económica del diseño seleccionado: Se evaluó la viabilidad económica de la alternativa seleccionada de un modelo de boya de amarre con capacidad de embarcaciones de 30.000 toneladas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Diagnosticar la situación actual de fabricación de boyas de amarre a nivel nacional.

En los últimos años, la fabricación de boyas de amarre en Venezuela ha sido tema de gran interés, debido a la demanda creciente de éstos en la industria petrolera y naval. Es importante destacar que la fabricación de estas estructuras se ha visto afectada por diversos factores que han limitado su producción a nivel nacional. Uno de los principales factores, es la falta de inversión en la industria nacional, que ha limitado la capacidad de los fabricantes de boyas de amarre para adquirir los equipos y materiales necesarios para producir estas estructuras de alta calidad. Además, la falta de políticas públicas para apoyar la producción nacional de boyas de amarre ha limitado la capacidad de los fabricantes para competir con los productores extranjeros. Es importante destacar que, la importación de estos dispositivos ha sido una práctica común en Venezuela, debido a la competitividad de los precios de importación en comparación con los precios de producción nacional.

Por otro lado, existe una necesidad a nivel nacional de reacondicionar los canales marítimos para su aprovechamiento a nivel social, económico y turístico. Debido a esta necesidad, el Ministerio del Poder Popular para el Transporte, a través de la Gran Misión Transporte Venezuela, estableció el “Plan Estratégico Nacional de Hidrovías”, de acuerdo con el Ministerio del Poder Popular de Transporte:

El plan contempla evaluar la posibilidad de transformar espacios acuáticos restringidos en nuevas arterias navegables, a fin de facilitar la movilización de embarcaciones que transportan la producción y la materia prima como fuente de recursos, promoviendo a su vez, la consolidación de las actividades productivas, comerciales, turísticas y económicas del país. (2020)

4.2 Analizar las variables involucradas en el diseño de boyas de amarre.

Para la determinación de los parámetros principales de una boya de amarre (sus dimensiones externas), se deben tomar en cuenta las fuerzas externas a las que estará sometido, las cuales son la capacidad del buque para la cual estará diseñado y las condiciones ambientales del lugar donde será instalada (viento, corriente y oleaje). En este caso se utilizaron las condiciones ambientales de la Planta de Distribución de PDVSA en Carenero, estado Miranda, ya que es el puerto de distribución petrolera con condiciones más extremas, según el Instituto Nacional de

Canalizaciones (ver figura 26) Por otro lado, se realizó el estudio referido al buque en plena carga, es decir, con su peso máximo de funcionamiento.

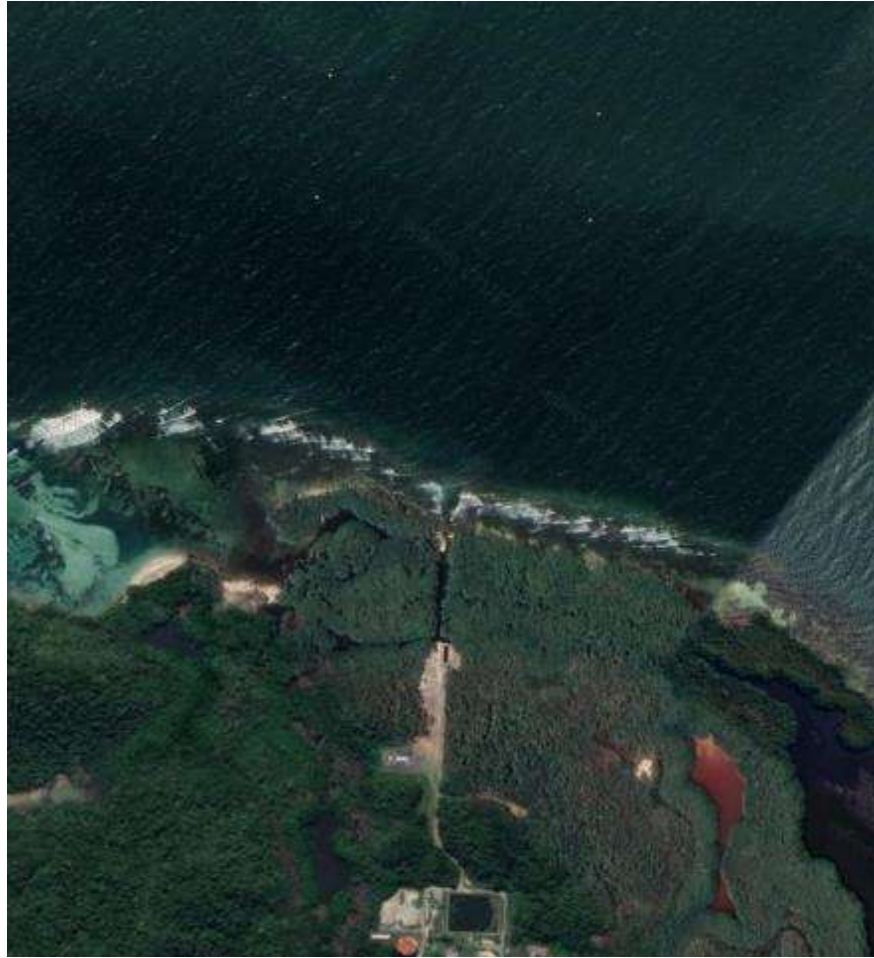


Figura 26. Vista satelital del puerto de la Planta de Distribución de PDVSA en Carenero.

Fuente: Google Earth.

Fueron determinadas las dimensiones del tipo de buque para el cual está diseñado el sistema de amarre, utilizando las medidas de un buque transportador de productos petrolíferos con capacidad de 30.000 Toneladas. (tomado de la figura 1 y la tabla 1 pág. 21)

TABLA 3.1. DIMENSIONES MEDIAS DE BUQUES A PLENA CARGA							
Tonelaje de Peso Muerto (TPM)	Desplazamiento (Δ)	Eslora Total (L)	Eslora entre perpendiculares (Lpp)	Manga (B)	Puntal (T)	Calado (D)	Coefficiente de Bloque
t	t	m	m	m	m	m	
Transportadores de productos petrolíferos y químicos							
50,000	66,000	210.0	200.0	32.2	16.4	12.6	0.81
40,000	54,000	200.0	190.0	30.0	15.4	11.8	0.80
30,000	42,000	188.0	178.0	28.0	14.2	10.8	0.78
20,000	29,000	174.0	165.0	24.5	12.6	9.8	0.73

Para las embarcaciones de 30.000 toneladas se tienen las siguientes dimensiones:

$$\text{Capacidad} = 30000 \text{ Ton}$$

$$\text{Eslora total } (L) = 188 \text{ m}$$

$$\text{Eslora entre perpendiculares } (L_{pp}) = 178 \text{ m}$$

$$\text{Manga } (B) = 28 \text{ m}$$

$$\text{Puntal } (T) = 14,2 \text{ m}$$

$$\text{Calado máximo } (D) = 10,8 \text{ m}$$

$$\text{Francobordo } (G) = T - D = (14,2 - 10,8)\text{m} = 3,4 \text{ m}$$

Según la norma ROM 2.0-11 Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de atraque y amarre:

A los efectos de la determinación de las componentes cuasi-estáticas de las resultantes horizontales de las fuerzas exteriores sobre el buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija, puede considerarse simplificada que la posición horizontal del buque respecto a la dirección de las fuerzas actuantes se mantiene constante y coincidente con la posición teórica de reposo en que se encuentra el buque amarrado cuando no actúan los agentes climáticos y operacionales sobre el mismo. Los componentes horizontales de las resultantes debidas a la actuación de los agentes climáticos y operacionales sobre el buque amarrado pueden estimarse de acuerdo con lo consignado en los siguientes epígrafes. (2012, p. 394)

4.2.1 Resultante horizontal de la acción del viento sobre el buque amarrado:

Para determinar las fuerzas resultantes del viento en la boya se debe realizar un análisis cuasi-estático de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado a una obra de atraque y amarre fija.

La componente cuasi-estática de la resultante horizontal de la acción del viento sobre un buque amarrado lateralmente o de costado es una fuerza de arrastre horizontal (R_V), pudiendo considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque: componente en el sentido longitudinal del buque ($F_{V,L}$), una componente en el sentido transversal del buque ($F_{V,T}$) y un momento de eje vertical ($M_{CG,V}$), debido a la excentricidad de la fuerza resultante respecto al eje de gravedad del buque. (ROM 2.0-11, 2012, p. 393)

Se deben determinar las alturas medias del buque, a partir de las siguientes ecuaciones (tomadas de la tabla 2, pág. 24):

$$R_V(\alpha) = \frac{\rho_a}{2} \cdot V_{V,T}^2 \cdot \frac{C_{DV,L}(\alpha) \cdot A_{V,T} \cdot \cos^2 \alpha + C_{DV,T}(\alpha) \cdot A_{V,L} \cdot \sin^2 \alpha}{\cos(\phi - \alpha)}$$

Tipo de buque	Tonelaje TPM	Alturas medias (m)		Tipo de buque	Tonelaje TPM	Alturas medias (m)	
		h_T	h_L			h_T	h_L
Transportadores de productos petrolíferos y químicos				Mercantes de carga general			
	50.000	13.00	2.60		40.000	17.00	5.00
	40.000	12.00	2.40		35.000	16.50	5.00
	30.000	11.00	2.20		30.000	16.00	5.00
	20.000	10.00	2.00		25.000	15.00	5.00
	10.000	9.00	2.00		20.000	14.00	5.00
					15.000	13.00	5.00

$$h_T = 11$$

$$h_L = 2,20$$

Luego, se determina el área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal (área longitudinal), mediante la ecuación (tomada de la tabla 2, pág. 25):

$$A_{V,L} = L_{pp}(G + h_L)$$

$$A_{V,L} = 178m(3,4m + 2,2)$$

$$A_{V,L} = 996,8 \text{ m}^2$$

Además, se determina el área emergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo (área transversal), mediante la ecuación (tomada de la tabla 2, pág. 25):

$$A_{V,T} = B(G + h_T)$$

$$A_{V,T} = 28m(3,4m + 11)$$

$$A_{V,T} = 403,2 \text{ m}^2$$

Se procede a determinar el valor de los coeficientes de arrastre en dirección longitudinal ($C_{DV,L}$) y en dirección transversal ($C_{DV,T}$), se utilizarán los correspondientes para buques a plena carga con viento de proa ($\alpha = 0^\circ$), para la dirección longitudinal, debido a datos ambientales proporcionados por el Instituto Nacional de Canalizaciones (INCANAL) (tomados de la tabla 2, pág. 26).

- $C_{DV,L}(\alpha)$: Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal. Su valor es muy variable en función de las características y forma del buque y de su situación de carga. En general está en el rango 0.90-0.40 para buques a plena carga y 1.20-0.4 para buques en lastre. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:
- Buques a plena carga
 - 0,90 para viento de proa ($\alpha = 0^\circ$)
 - 0,70 para viento de popa ($\alpha = 180^\circ$)
 - Buques en lastre
 - 1,20 para viento de proa ($\alpha = 0^\circ$)
 - 1,00 para viento de popa ($\alpha = 180^\circ$)
- $C_{DV,T}(\alpha)$: Factor adimensional de arrastre para el viento actuando sobre el buque amarrado en dirección perpendicular a su eje longitudinal ($\alpha = 90^\circ$ ó 270°) Su valor es muy variable en función de las características y forma del buque y de su situación de carga. En general está en el rango 1,0-0,80 para la mayor parte de los buques, independientemente de su situación de carga. No obstante, para buques pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo el rango de variación de este factor puede ampliarse hasta 1,50-0,60. A falta de ensayos específicos en túnel de viento, en tanque o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, pueden adoptarse para el mismo del lado de la seguridad los siguientes valores:
- Todo tipo de buques excepto pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo: 1,00.
 - Buques pesqueros, remolcadores, embarcaciones auxiliares y embarcaciones deportivas y de recreo: 1,50.

Por lo que:

$$C_{DV,L} = 0,9$$

$$C_{DV,T} = 1$$

Luego, se determina el coeficiente adimensional de excentricidad, respecto a un buque con superestructura a popa y un ángulo de 30° , debido a datos proporcionados por INCANAL (tomado de la tabla 2, pág. 26):

$$\alpha = 30^\circ$$

α (en $^\circ$)	$K_{V,e}$					
	BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A PROA		BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA	
	En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga	En lastre	A plena carga
0	0	0	0	0	0	0
30	0,15	0,10	0,33	0,37	0,16	-0,10
60	0,05	0,03	0,18	0,27	0,05	-0,12
90	-0,02	0,02	-0,04	0,16	-0,04	-0,16
120	-0,10	0,10	-0,05	0,12	-0,18	-0,27
150	-0,20	0,10	-0,16	0,10	-0,33	-0,37
180	0	0	0	0	0	0

$$K_{V,e} = -0,10$$

Propiedades del viento

Posteriormente, se tienen las propiedades del viento en el área de la planta de distribución de PDVSA en Carenero, esto debido a que es el puerto de distribución de productos derivados del petróleo con condiciones climáticas de viento y oleaje más complicadas en el territorio nacional. Además, se utilizarán condiciones severas de dicha zona, recopiladas por el Instituto Nacional de Canalizaciones:

$$V_{V,t} = 24 \text{ nudos} = 12,3456 \text{ m/s}$$

Dirección viento $\alpha = 315^\circ = 5,498 \text{ rad}$

$$\rho_a = 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Luego, se determina el ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque amarrado (ϕ), con la ecuación (tomada de la tabla 2, pág. 25):

$$\phi(\alpha) = \arctan \left[\left(\frac{A_{V,L}}{A_{V,T}} \right) \cdot \tan \alpha \right]$$

$$\phi(\alpha) = \arctan \left[\left(\frac{996,8 \text{ m}^2}{403,2 \text{ m}^2} \right) \cdot \tan(5,498) \right]$$

$$\phi(\alpha) = -1,1864 \text{ rad} = -67,97^\circ$$

Se procede a determinar la fuerza resultante de la acción del viento en dirección α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado (R_V):

$$R_V(\alpha) = \frac{\rho_a}{2} \cdot V_{V,t}^2 \cdot \frac{C_{DV,L}(\alpha) \cdot A_{V,T} \cdot \cos^2 \alpha + C_{DV,T}(\alpha) \cdot A_{V,L} \cdot \sin^2 \alpha}{\cos(\phi - \alpha)}$$

$$\frac{\rho_a}{2} V_{V,t}^2 = \frac{1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} (12,3456 \text{ m/s})^2 = 93,353 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$C_{DV,L}(\alpha) \cdot A_{V,T} \cdot (\cos \alpha)^2 = (0,9)(403,2 \text{ m}^2)(\cos(5,498))^2 = 181,517 \text{ m}^2$$

$$C_{DV,T}(\alpha) \cdot A_{V,L} \cdot (\sin \alpha)^2 = (1)(996,8 \text{ m}^2)(\sin(5,498))^2 = 498,188 \text{ m}^2$$

$$\cos(\phi - \alpha) = \cos(-1,1864 - 5,498) = 0,92$$

$$R_V(\alpha) = \left(93,353 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \right) \frac{181,517 \text{ m}^2 + 498,188 \text{ m}^2}{0,92}$$

$$R_V(\alpha) = 68970,1096 \text{ N}$$

$$R_V(\alpha) = \frac{68970,1096 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 7030,5922 \text{ kg} = 7,03 \text{ Ton}$$

Con esta fuerza, se procede a determinar la componente en sentido longitudinal ($F_{V,L(\alpha)}$) y en sentido transversal ($F_{V,T(\alpha)}$) del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un viento de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque, con la ecuación (tomada de la tabla 2, pág. 24):

$$F_{V,L(\alpha)} = R_{V(\alpha)} \cdot \cos \phi = (7,03 \text{ Ton})(\cos(-1,1864))$$

$$F_{V,L(\alpha)} = 2,636 \text{ Ton}$$

$$F_{V,T(\alpha)} = R_{V(\alpha)} \cdot \sin \phi = (7,03 \text{ Ton})(\sin(-1,1864))$$

$$F_{V,T(\alpha)} = -6,517 \text{ Ton}$$

Luego, se determina el momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque ($M_{CG,V(\phi)}$), con la siguiente ecuación (tomada de la tabla 2, pág. 25):

$$M_{CG,V(\phi)} = F_{V,T(\alpha)} \cdot K_{V,e} \cdot L = (-6,517 \text{ Ton})(-0,10)(188 \text{ m})$$

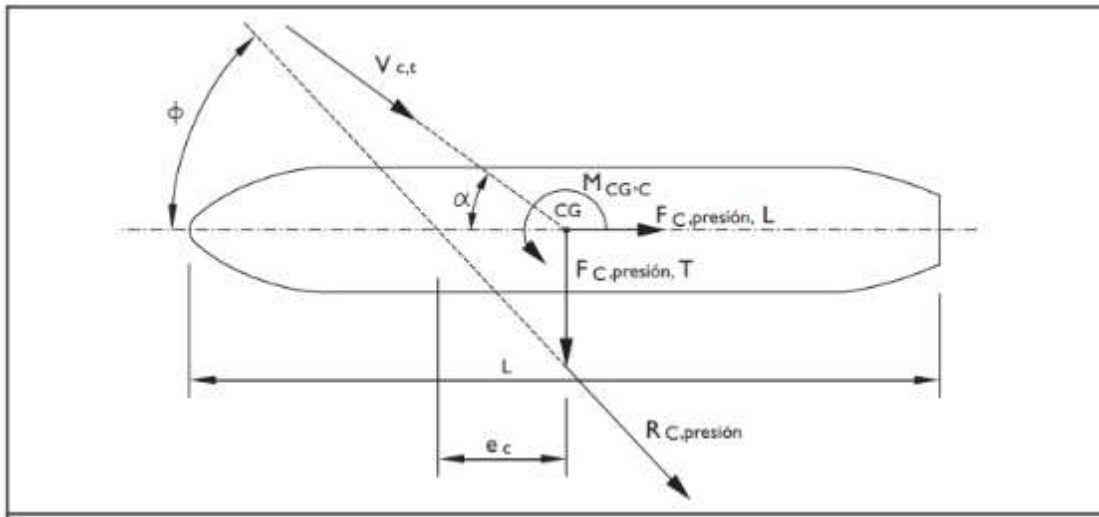
$$M_{CG,V(\phi)} = 122,52 \text{ Ton m}$$

4.2.2 Resultante horizontal de la acción de la corriente sobre el buque amarrado:

4.2.2.1 Componente resultante horizontal de las fuerzas de presión debidas a la acción de la corriente:

Para determinar las fuerzas resultantes de la acción de la corriente sobre un buque amarrado lateralmente o de costado, se debe determinar la componente cuasi-estática de la resultante horizontal (R_C) de estas fuerzas, a partir de la siguiente ecuación (tomada de la tabla 3, pág. 27).

Puede considerarse formada por las siguientes componentes aplicadas en el centro de gravedad del buque: Una componente en sentido longitudinal del buque ($F_{C,L}$), una componente en sentido transversal del buque ($F_{C,T}$) y un momento de eje vertical ($M_{CG,C}$) debido a la excentricidad de la resultante horizontal de las fuerzas de presión en relación con el centro de gravedad del buque. (ROM 2.0-11, 2012, p. 397)



$$R_{C,presión}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,J}^2 \cdot \frac{C_{DC,L}(\alpha) \cdot A_{C,T} \cdot \cos^2 \alpha + C_{DC,T}(\alpha) \cdot A_{C,L} \cdot \sin^2 \alpha}{\cos(\phi - \alpha)}$$

Se utilizarán las mismas propiedades del buque, que se volverán a incluir para efectos prácticos:

$$\text{Capacidad} = 30000 \text{ Ton}$$

$$\text{Eslora total } (L) = 188 \text{ m}$$

$$\text{Eslora entre perpendiculares } (L_{pp}) = 178 \text{ m}$$

$$\text{Manga } (B) = 28 \text{ m}$$

$$\text{Puntal } (T) = 14,2 \text{ m}$$

$$\text{Calado máximo } (D) = 10,8 \text{ m}$$

$$\text{Francobordo } (G) = T - D = (14,2 - 10,8)\text{m} = 3,4 \text{ m}$$

Luego, se determinará el área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular a su eje longitudinal (área transversal), mediante la siguiente ecuación (tomada de la tabla 3, pág. 28):

$$A_{C,T} = B_{if} \cdot D$$

Donde B_{if} es la manga del buque a la altura de flotación, cuyo valor corresponde a 28 m.

$$A_{C,T} = (28 \text{ m})(10,8 \text{ m}) = 302,4 \text{ m}^2$$

Además, se determina el área sumergida de la proyección del buque sobre un plano vertical que contenga a su eje longitudinal (área longitudinal), a partir de la ecuación (tomada de la tabla 3, pág. 28):

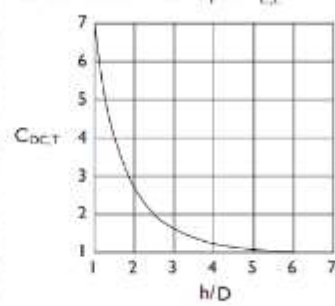
$$A_{C,L} = L_{if} \cdot D$$

Donde L_{if} es la eslora del buque a la altura de flotación, que es de 178 m.

$$A_{C,L} = (178 \text{ m})(10,8 \text{ m}) = 1922,4 \text{ m}^2$$

Se procede a determinar el factor adimensional para la corriente que actúa sobre el buque amarrado en la dirección perpendicular a su eje longitudinal ($C_{DC,T}(\alpha)$) y el requerido para la corriente que actúa sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal ($C_{DC,L}(\alpha)$), a partir de la siguiente ecuación (tomada de la tabla 3, pág. 28):

$C_{DC,T}(\alpha)$: Factor adimensional de forma para la corriente actuando sobre el buque amarrado en la dirección perpendicular a su eje longitudinal ($\alpha = 90^\circ$ ó 270°). Este coeficiente es altamente dependiente del resguardo bajo la quilla, es decir, de la relación entre la profundidad de agua y el calado del buque (h/D), incrementándose a medida que se reduce este último parámetro por efecto del mayor bloqueo del buque al flujo de corriente. En general, su valor en aguas profundas ($h/D > 6$) está en el rango 0,3-1,5. A falta de una determinación más precisa por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad podrá adoptarse con carácter general el valor 1 para aguas profundas. La variación de este coeficiente en función de la relación h/D puede obtenerse por medio de los factores de corrección determinados a partir de la siguiente figura, para cualquier forma del buque y dirección de actuación de la corriente.

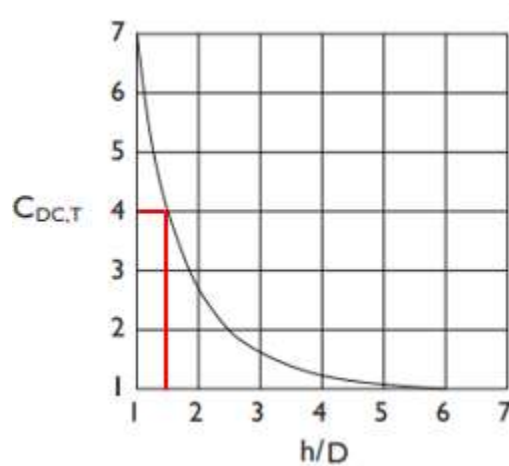


$C_{DC,L}(\alpha)$: Factor adimensional de forma para la corriente actuando sobre el buque amarrado en la dirección de su eje longitudinal ($\alpha = 0^\circ$ ó 180°). Depende fundamentalmente de la geometría de la proa del buque, no teniendo prácticamente incidencia si la corriente actúa por proa o popa. En general su valor está en el rango 0,2-0,6 para buques con proa angulosa. A falta de una determinación más precisa por medio de ensayos en modelo físico o de datos más detallados correspondientes al buque considerado procedentes de ensayos en modelo realizados con anterioridad, se adoptará el valor 0,2 para buques con bulbo en proa (portacontenedores) y 0,6 para buques con proa convencional. Este coeficiente no es tan dependiente del resguardo bajo quilla como $C_{DC,T}$. Únicamente para relaciones $h/D < 2$ el factor adimensional debe corregirse utilizando un coeficiente multiplicador igual a 1,5.

Se determina la relación entre la profundidad del agua (h) y el calado del buque (D), con la ecuación de la tabla 3. Los datos de la profundidad del agua fueron suministrados por el Instituto Nacional de Canalizaciones.

$$\frac{h}{D} = \frac{16,2 \text{ m}}{10,8 \text{ m}} = 1,5$$

Con esta relación se determina el factor ($C_{DC,T}(\alpha)$), (tomado del gráfico 1, pág. 29):



$$C_{DC,T}(\alpha) = 4,0$$

$$C_{DC,L}(\alpha) = 0,6 \text{ Para buques con proa convencional}$$

Luego, se determina el coeficiente adimensional de excentricidad $K_{C,e}(\alpha)$, con un factor $\alpha = 30^\circ$, definido anteriormente en el estudio del viento, (tomada de la tabla 3, pág. 30):

α (en °)	$K_{C,e}$
0	0
30	0,17
60	0,09
90	0
120	-0,09
150	-0,17
180	0

$$K_{C,e}(\alpha) = 0,17$$

Propiedades de la corriente.

Posteriormente, se tienen las propiedades de la corriente en el área de la planta de distribución de PDVSA en Carenero, esto debido a que es el puerto de distribución de productos derivados del petróleo con condiciones climáticas de viento y oleaje más complicadas en el territorio nacional. Además, se utilizarán condiciones severas de dicha zona, recopiladas por el Instituto Nacional de Canalizaciones:

$$V_{C,t} = 1,5 \text{ nudos} = 0,77 \text{ m/s}$$

$$\text{Dirección } \alpha = 350^\circ = 6,109 \text{ rad}$$

$$\rho_{\text{agua de mar}} = \rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3$$

Se procede a determinar al ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque amarrado, a partir de la ecuación (tomada de la tabla 3, pág. 27):

$$\phi_\alpha = \arctan \left[\left(\frac{A_{C,L}}{A_{C,T}} \right) \cdot \tan(\alpha) \right]$$

$$\phi_\alpha = \arctan \left[\left(\frac{1922,4 \text{ m}^2}{302,4 \text{ m}^2} \right) \cdot \tan(6,109) \right]$$

$$\phi_\alpha = -0,842 \text{ rad} = -48,26^\circ$$

Luego, se determina la fuerza total de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado, con la siguiente ecuación (tomada de la tabla 3, pág. 27):

$$R_{C_{presión}}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot \frac{C_{DC,L}(\alpha) \cdot A_{C,T} \cdot \cos^2 \alpha + C_{DC,T}(\alpha) \cdot A_{C,L} \cdot \sin^2 \alpha}{\cos(\phi - \alpha)}$$

$$\frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 = \frac{1025 \frac{kg}{m^3}}{2} \left(0,77 \frac{m}{s}\right)^2 = 305,125 \frac{kg}{ms^2}$$

$$C_{DC,L}(\alpha) \cdot A_{C,T} \cdot (\cos \alpha)^2 = (0,6)(302,4 m^2)(\cos 6,109)^2 = 175,99 m^2$$

$$C_{DC,T}(\alpha) \cdot A_{C,L} \cdot (\sin \alpha)^2 = (4)(1922,4 m^2)(\sin 6,109)^2 = 230,96 m^2$$

$$\cos(\phi - \alpha) = \cos(-0,842 - 6,109) = 0,785$$

$$R_{C_{presión}}(\alpha) = \left(305,125 \frac{kg}{ms^2}\right) \cdot \frac{175,99 m^2 + 230,96 m^2}{0,785}$$

$$R_{C_{presión}}(\alpha) = 158179,13 N$$

$$R_{C_{presión}}(\alpha) = \frac{158179,13 \frac{kg m}{s^2}}{9,81 \frac{m}{s^2}} = 16124,274 kg = 16,12 Ton$$

Con este valor, se procede a determinar la componente en sentido longitudinal ($F_{C_{presión,L}}(\alpha)$) y en sentido transversal ($F_{C_{presión,T}}(\alpha)$) del buque, de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de presión debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque, a partir de las ecuaciones (tomadas de la tabla 3, pág. 27):

$$F_{C_{presión,L}}(\alpha) = R_{C_{presión}} \cdot \cos \phi$$

$$F_{C_{presión,T}}(\alpha) = R_{C_{presión}} \cdot \sin \phi$$

$$F_{C_{presión,L}}(\alpha) = (16,12 Ton)(\cos -0,842) = 10,73 Ton$$

$$F_{C_{presión,T}}(\alpha) = (16,12 Ton)(\sin -0,842) = -12,025 Ton$$

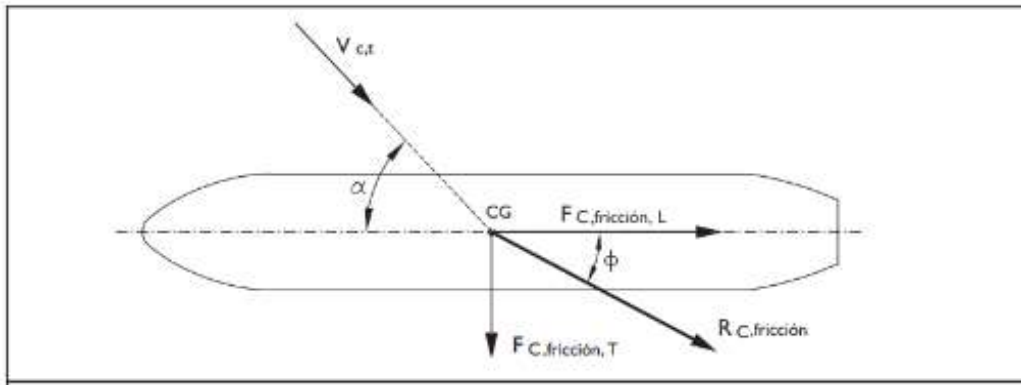
Posteriormente se determina el momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, mediante la ecuación (tomada de la tabla 3, pág. 27):

$$M_{CG,V}(\alpha) = F_{C_{presión,T}}(\alpha) \cdot K_{C,e}(\alpha) \cdot L$$

$$M_{CG,V}(\alpha) = (-12,025 Ton)(0,17)(188 m)$$

$$M_{CG,V}(\alpha) = -384,32 Ton m$$

4.2.2.2 Componente resultante horizontal de las fuerzas de fricción debido a la acción de la corriente:



Esta componente fue determinada a partir de las ecuaciones (tomadas de la tabla 4, pág.31).

$$F_{Cfricción,L}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fC} \cdot A_{fC,L} \cdot \cos^2(\alpha)$$

$$F_{Cfricción,T}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fC} \cdot A_{fC,T} \cdot \sin^2(\alpha)$$

Dimensiones del buque.

Capacidad = 30000 Ton

Eslora total (L) = 188 m

Eslora entre perpendiculares (Lpp) = 178 m

Manga (B) = 28 m

Puntal (T) = 14,2 m

Calado máximo (D) = 10,8 m

Francobordo (G) = T - D = (14,2 - 10,8)m = 3,4 m

Propiedades de la corriente.

$V_{C,t} = 1,5 \text{ nudos} = 0,77 \text{ m/s}$

Dirección $\alpha = 350^\circ = 6,109 \text{ rad}$

$\rho_{\text{agua de mar}} = \rho_w = 1,025 \text{ kg/m}^3$

Se utilizarán los mismos datos sobre las dimensiones del buque y la corriente utilizados en el apartado anterior. Se procede a calcular el coeficiente adimensional de rozamiento para la

corriente (C_{fc}), y con un *número de Reynolds* = 4930,84 , dato proporcionado por el Instituto Nacional de Canalizaciones, con la siguiente ecuación (tomada de la tabla 4, pág.31):

$$C_{fc} = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$$

$$C_{fc} = \frac{0,075}{(\log_{10} 4930,84 - 2)^2} = 0,0055$$

Luego, se determina el área de la superficie mojada del buque en la dirección perpendicular al plano de crujía ($A_{fc,T}$) y en la dirección del plano de crujía ($A_{fc,L}$), en la situación de carga considerada, en este caso, a plena carga, a partir de las siguientes ecuaciones (tomadas de la tabla 4, pág.31).

$$A_{fc,T} = (L_{pp} + 2D) \cdot B$$

$$A_{fc,L} = (B + 2D) \cdot L_{pp}$$

$$A_{fc,T} = (L_{pp} + 2D) \cdot B = [178 \text{ m} + 2(10,8 \text{ m})](28 \text{ m}) = 5588,8 \text{ m}^2$$

$$A_{fc,L} = (B + 2D) \cdot L_{pp} = [28 \text{ m} + 2(10,8 \text{ m})](178 \text{ m}) = 8828,8 \text{ m}^2$$

Se procede a determinar la fuerza en sentido longitudinal ($F_{Cfricción,L}(\alpha)$) y transversal ($F_{Cfricción,T}(\alpha)$) del buque, de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque, mediante las ecuaciones (tomadas de la tabla 4, pág.31):

$$F_{Cfricción,L}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fc} \cdot A_{fc,L} \cdot (\cos \alpha)^2$$

$$F_{Cfricción,L}(\alpha) = \frac{1025 \text{ kg/m}^3}{2} \cdot \left(0,77 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot (0,0055) \cdot (8828,8 \text{ m}^2) \cdot (\cos 6,109)^2$$

$$F_{Cfricción,L}(\alpha) = 14311,85 \text{ N} = 1458,9 \text{ kg}$$

$$F_{Cfricción,L}(\alpha) = 1,46 \text{ Ton}$$

$$F_{Cfricción,T}(\alpha) = \frac{\rho_w}{2} \cdot V_{C,t}^2 \cdot C_{fc} \cdot A_{fc,T} \cdot (\sin \alpha)^2$$

$$F_{Cfricción,T}(\alpha) = \frac{1025 \text{ kg/m}^3}{2} \cdot \left(0,77 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot (0,0055) \cdot (5588,8 \text{ m}^2) \cdot (\sin 6,109)^2$$

$$F_{Cfricción,T}(\alpha) = 280,53 \text{ N} = 28,59 \text{ Kg}$$

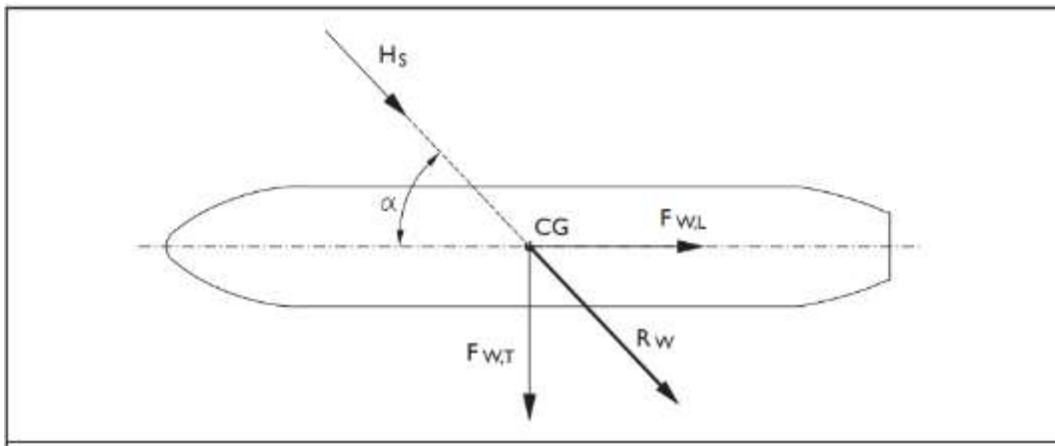
$$F_{Cfricción,T}(\alpha) = 0,029 \text{ Ton}$$

Posteriormente, se determina el ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de proa a popa, y la dirección de la fuerza de arrastre resultante de las fuerzas de fricción debidas a la acción de una corriente de dirección α sobre el buque amarrado ($\phi(\alpha)$), mediante la ecuación (tomada de la tabla 4, pág.31):

$$\phi(\alpha) = \arctan \left[\left(\frac{A_{fC,T}}{A_{fC,L}} \right) \cdot (\tan \alpha)^2 \right]$$

$$\phi(\alpha) = \arctan \left[\left(\frac{5588,8 \text{ m}^2}{8828,8 \text{ m}^2} \right) \cdot (\tan(6,109))^2 \right] = 0,0196 \text{ rad}$$

4.2.3 Resultante horizontal de la acción del oleaje sobre el buque amarrado:



$$R_W(\alpha) = \gamma_w \cdot C_{f,W} \cdot C_{d,W} \cdot H_s^2 \cdot L_{proy|\alpha}$$

Con la ecuación anterior, (tomada de la tabla 5, pág.32), se utilizarán las mismas dimensiones del buque del apartado anterior, por otro lado, se tienen las características de oleaje en el área de la planta de distribución de PDVSA en Carenero, esto debido a que es el puerto de distribución de productos derivados del petróleo con condiciones climáticas de viento y oleaje más complicadas en el territorio nacional. Además, se utilizarán condiciones severas de dicha zona, recopiladas por el Instituto Nacional de Canalizaciones:

Dimensiones del buque.

$$\text{Capacidad} = 30000 \text{ Ton}$$

$$\text{Eslora total } (L) = 188 \text{ m}$$

$$\text{Eslora entre perpendiculares } (L_{pp}) = 178 \text{ m}$$

$$\text{Manga } (B) = 28 \text{ m}$$

$$\text{Puntal } (T) = 14,2 \text{ m}$$

$$\text{Calado máximo } (D) = 10,8 \text{ m}$$

$$\text{Francobordo } (G) = T - D = (14,2 - 10,8) \text{ m} = 3,4 \text{ m}$$

Características del oleaje.

$$\text{Altura de ola significativa} = H_s = 1,8 \text{ m}$$

$$T = 7 \text{ s}$$

$$\text{Profundidad} = h = 20 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de onda} = L_w = 88 \text{ m}$$

$$\text{Peso específico} = \gamma_w = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dirección } \alpha = 315^\circ = 5,498 \text{ rad}$$

$$\rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3$$

Se procede a determinar la longitud de proyección del buque en la dirección del oleaje incidente, mediante la ecuación (tomada de la tabla 5, pág.33).

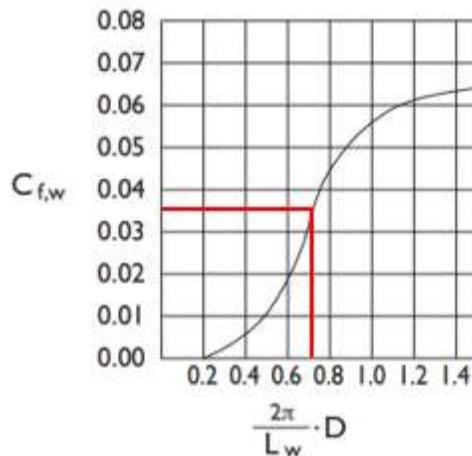
$$L_{\text{proy}/\alpha} = L_{pp} \cdot \sin \alpha + B \cdot \cos \alpha = 106,07$$

$$L_{\text{proy}/\alpha} = |(178 \text{ m})(\sin 5,498) + (28 \text{ m})(\cos 5,498)|$$

$$L_{\text{proy}/\alpha} = 106,04 \text{ m}$$

Luego, se determina el coeficiente adimensional de flotación ($C_{f,w}$) (a partir del gráfico 2 y la ecuación de la tabla 5, pág. 33):

$$\frac{2\pi}{L_w} \cdot D = \frac{2\pi}{(88 \text{ m})} \cdot (10,8 \text{ m}) = 0,77$$

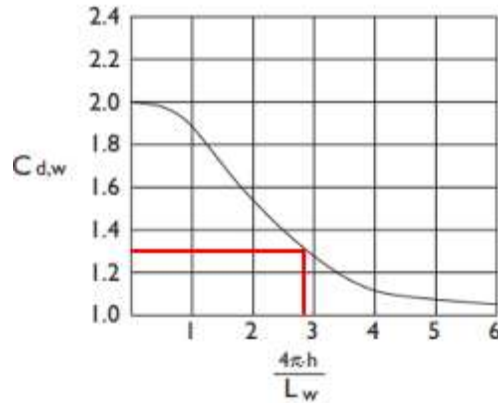


Interpolando se obtiene que:

$$C_{f,W} = 0,04125$$

Posteriormente, se determina el coeficiente adimensional de profundidad relativa ($C_{d,W}$), (a partir del gráfico 3 y la ecuación de la tabla 5, pág. 33):

$$\frac{4\pi h}{L_w} = \frac{4\pi(20\text{ m})}{88\text{ m}} = 2,86$$



Interpolando se obtiene que:

$$C_{d,W} = 1,3$$

Se procede a determinar la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección de propagación α , medida desde el eje longitudinal del buque considerado de proa a popa, sobre el buque amarrado ($R_W(\alpha)$), a partir de la ecuación (tomada de la tabla 5, pág.32):

$$R_W(\alpha) = \gamma_w \cdot C_{f,W} \cdot C_{d,W} \cdot H_s^2 \cdot L_{proy/\alpha}$$

$$R_W(\alpha) = \left(1025 \frac{kg}{m^3}\right) (0,04125)(1,3)(1,8\text{ m})^2(106,04\text{ m})$$

$$R_W(\alpha) = 18884,52\text{ Kg} = 18,89\text{ Ton}$$

Luego, se determina la componente en sentido longitudinal ($F_{W,L}$) y en sentido transversal ($F_{W,T}$) del buque de la fuerza total de arrastre resultante de la acción de un oleaje incidente con dirección α sobre el buque, aplicada en el centro de gravedad del buque, a partir de las ecuaciones (tomadas de la tabla 5, pág.33):

$$F_{W,L}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \cos \alpha$$

$$F_{W,T}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \sin \alpha$$

$$F_{W,L}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \cos \alpha = (18,89\text{ Ton}) \cos 5,498$$

$$F_{W,L}(\alpha) = 13,36 \text{ Ton}$$

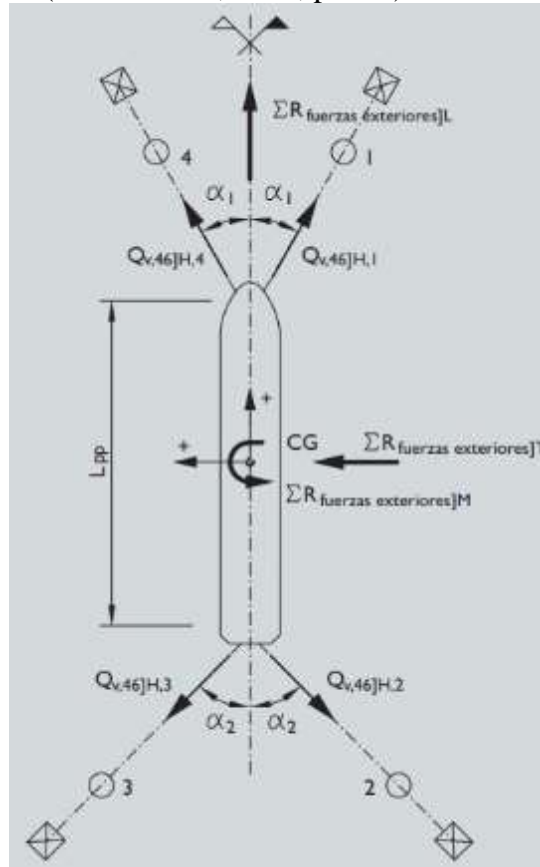
$$F_{W,T}(\alpha) = R_W(\alpha) \cdot \sin \alpha = (18,89 \text{ Ton}) \sin 5,498$$

$$F_{W,T}(\alpha) = -13,354 \text{ Ton}$$

4.2.4 Cargas en las amarras respecto a la pretensión inicial.

En el caso de un sistema de amarre constituido por dos puntos de amarre por proa y dos por popa (tomado de la figura 22, pág. 23), siempre que no exista destensamiento de ninguna línea de amarre:

Los incrementos (o decrementos) de las cargas en las amarras respecto a la pretensión inicial pueden obtenerse mediante la formulación de las ecuaciones de equilibrio entre la resultante horizontal de la componente quasi-estática de las cargas en las líneas de amarre y la componente quasi-estática de la resultante horizontal de las fuerzas exteriores que actúan sobre el buque. (ROM 2.0-11, 2012, p. 415)



Estas cargas son determinadas mediante las ecuaciones 1, 2, 3 y la ecuación de simetría 4:

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]L} = (\Delta Q_{v,46]H,2} + \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \cos \alpha_2 - (\Delta Q_{v,46]H,1} + \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \cos \alpha_1$$

Ec. 1

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]T} = (\Delta Q_{v,46]H,1} - \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \sin \alpha_1 + (\Delta Q_{v,46]H,2} - \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \sin \alpha_2$$

Ec. 2

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]M} = \frac{L_{pp}}{2} [(\Delta Q_{v,46]H,1} - \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \sin \alpha_1] - (\Delta Q_{v,46]H,2} - \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \sin \alpha_2$$

Ec. 3

$$(\Delta Q_{v,46]H,2} + \Delta Q_{v,46]H,3}) \cdot \cos \alpha_2 = -(\Delta Q_{v,46]H,1} + \Delta Q_{v,46]H,4}) \cdot \cos \alpha_1$$

Ec. 4

Primero, se deben determinar las resultantes de las fuerzas exteriores a partir de las componentes calculadas en apartados anteriores:

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]L} = F_{V,L(\alpha)} + F_{C\ presión,L(\alpha)} + F_{C\ fricción,L(\alpha)} + F_{W,L(\alpha)} \quad \text{Ec. 7}$$

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]L} = 2,636\ Ton + 10,73\ Ton + 1,46\ Ton + 13,36\ Ton$$

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]L} = 28,19\ Ton$$

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]T} = F_{V,T(\alpha)} + F_{C\ presión,T(\alpha)} + F_{C\ fricción,T(\alpha)} + F_{W,T(\alpha)} \quad \text{Ec. 8}$$

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]T} = -6,517\ Ton - 12,025\ Ton + 0,029\ Ton - 13,354\ Ton$$

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]T} = -31,87\ Ton$$

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]M} = M_{CG,V(\phi)} + M_{CG,C(\alpha)} \quad \text{Ec. 9}$$

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]M} = 122,52\ Ton\ m - 384,32\ Ton\ m$$

$$\sum R_{Fuerzas\ exteriores]M} = -261,8\ Ton\ m$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ = 0,524\ Rad$$

$$\sin 0,524 = 0,5$$

$$\cos 0,524 = 0,866$$

Luego, se sustituyen los valores en las ecuaciones 1, 2, 3 y se determinan los coeficientes de las cargas a partir del sistema de ecuaciones.

$$28,19\ Ton = (\Delta Q_{v,46]H,2} + \Delta Q_{v,46]H,3})(0,866) - (\Delta Q_{v,46]H,1} + \Delta Q_{v,46]H,4})(0,866)$$

$$-31,87\ Ton = (\Delta Q_{v,46]H,1} - \Delta Q_{v,46]H,4})(0,5) + (\Delta Q_{v,46]H,2} - \Delta Q_{v,46]H,3})(0,5)$$

$$-261,8\ Ton\ m = \frac{178}{2} [(\Delta Q_{v,46]H,1} - \Delta Q_{v,46]H,4})(0,5)] - (\Delta Q_{v,46]H,2} - \Delta Q_{v,46]H,3})(0,5)$$

Reorganizando y añadiendo la ecuación de equilibrio 4, se obtiene:

$$-(0,866)\Delta Q_{v,46]H,1} + (0,866)\Delta Q_{v,46]H,2} + (0,866)\Delta Q_{v,46]H,3} - (0,866)\Delta Q_{v,46]H,4} = -28,19 \text{ Ton}$$

$$(0,5)\Delta Q_{v,46]H,1} + (0,5)\Delta Q_{v,46]H,2} - (0,5)\Delta Q_{v,46]H,3} - (0,5)\Delta Q_{v,46]H,4} = -31,87 \text{ Ton}$$

$$(44,5)\Delta Q_{v,46]H,1} - (0,5)\Delta Q_{v,46]H,2} + (0,5)\Delta Q_{v,46]H,3} - (44,5)\Delta Q_{v,46]H,4} == -261,8 \text{ Ton m}$$

$$(0,866)\Delta Q_{v,46]H,1} + (0,866)\Delta Q_{v,46]H,2} + (0,866)\Delta Q_{v,46]H,3} + (0,866)\Delta Q_{v,46]H,4} = 0$$

A partir del sistema de ecuaciones anterior se obtiene que:

$$\Delta Q_{v,46]H,1} = 4,88 \text{ Ton}$$

$$\Delta Q_{v,46]H,2} = -36,74 \text{ Ton}$$

$$\Delta Q_{v,46]H,3} = 20,47 \text{ Ton}$$

$$\Delta Q_{v,46]H,4} = 11,4 \text{ Ton}$$

Se elimina $\Delta Q_{v,46]H,2}$ por resultar destensada y se despeja de nuevo:

$$-(0,866)\Delta Q_{v,46]H,1} + (0,866)\Delta Q_{v,46]H,3} - (0,866)\Delta Q_{v,46]H,4} = -28,19 \text{ Ton}$$

$$(0,5)\Delta Q_{v,46]H,1} - (0,5)\Delta Q_{v,46]H,3} - (0,5)\Delta Q_{v,46]H,4} = -31,87 \text{ Ton}$$

$$(44,5)\Delta Q_{v,46]H,1} + (0,5)\Delta Q_{v,46]H,3} - (44,5)\Delta Q_{v,46]H,4} == -261,8 \text{ Ton m}$$

$$\Delta Q_{v,46]H,1} = 41,62 \text{ Ton}$$

$$\Delta Q_{v,46]H,3} = 57,21 \text{ Ton}$$

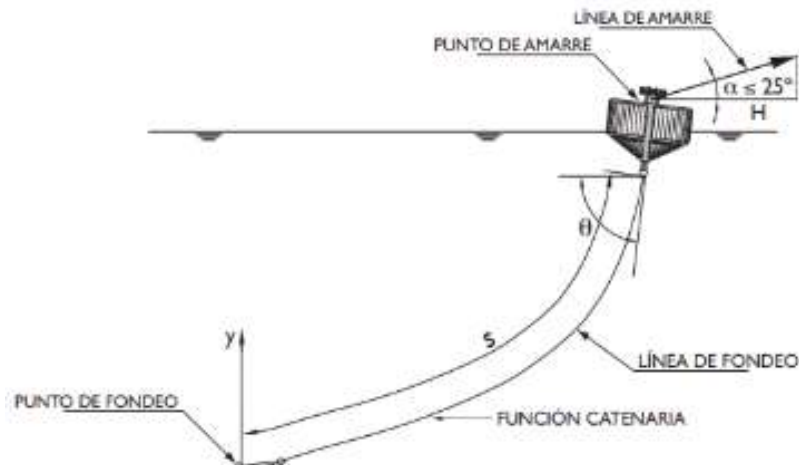
$$\Delta Q_{v,46]H,4} = 48,15 \text{ Ton}$$

Se utilizará la carga mayor para el diseño de la boya de amarre, es decir, una carga de 57,21 Ton.

4.3 Seleccionar la alternativa más viable para las embarcaciones de hasta 30.000 toneladas.

4.3.1 Fuerza de flotabilidad requerida para la boya.

Se procede a determinar la fuerza de flotabilidad requerida (F_{FR}) para contrarrestar las acciones medioambientales ejercidas sobre el barco y la cadena, ver figura 26 (línea naranja). Para este cálculo, se tomará el ángulo $\alpha = 25^\circ$ para la orientación de la fuerza mayor de arrastre $H_3 = 57,21 \text{ Ton}$ calculada anteriormente (tomado de la figura 22, pág. 23). Además, se estudiará a la cadena totalmente tensada con una longitud de 60m para simplificar los cálculos, como se observa en la figura 26 (línea amarilla).



$$H_3 = 57,21 \text{ Ton}$$

Propiedades de la cadena

Se utilizó una cadena con concreto de $\varnothing = 3 \frac{1}{2}$ " que equivale a 88,9 mm, se aproximó esta medida a 90mm. (Ver tabla 12).

Tabla 12. Propiedades de cadena con concreto.

Diámetro Cadena (mm)	Cadena Concreto kg/27.5m	Eslabón Normal (C)	Eslabón Alargado	Eslabón Final	Grillete Kenter	Grillete Unión	Grillete Final	Grillete Giratorio	Ancla Grillete Giratorio A SW A (a)	Ancla Grillete Giratorio A SW A (b)
84	4334	53.50	69.0	74.4	90	136	212	198	931	424
87	4650	58.90	81.1	84.6	96	160	237	215	931	472
90	4976	66.35	88.0	91	108	176	245	238	1191	522
92	5199	71.22	97.5	100	114	196	257	252	1191	558

Fuente: Trillo, anclas y cadenas.

Se determina el peso por metro de la cadena:

$$\frac{4976 \text{ kg}}{27,5 \text{ m}} = 180,95 \text{ kg/m}$$

La tensión total de la cadena será entonces:

$$T_c = 180,95 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 60\text{m} = 10857 \text{ kg} = 10,86 \text{ Ton}$$

Las fuerzas que favorecen al hundimiento de la boya son la componente horizontal de la carga de amarre a la embarcación (línea roja) y la componente vertical del peso de la cadena amarrada al muerto (línea azul), (ver figura 26), se procede a determinar dichas componentes a partir de las siguientes ecuaciones, extraídas del diagrama de cuerpo libre.

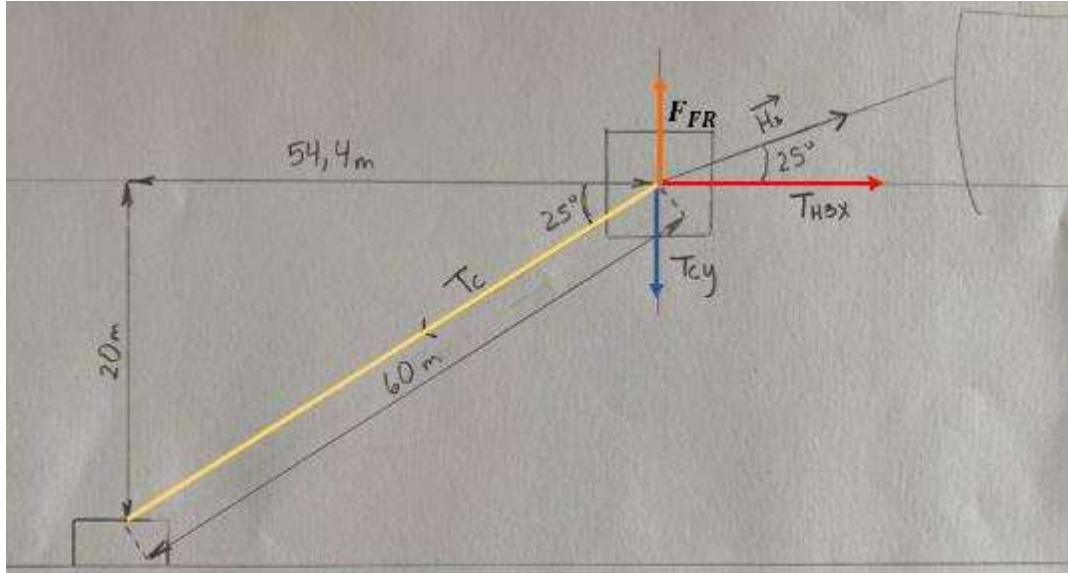


Figura 27 Diagrama de cuerpo libre simplificado con las fuerzas que favorecen el hundimiento de la boya y la fuerza de flotabilidad requerida.

Fuente: Autores.

$$T_{H3x} = H_3 \cos 25^\circ \quad \text{Ec. 10}$$

$$T_{cy} = T_c \sin 25^\circ \quad \text{Ec. 11}$$

$$T_{H3x} = H_3 \cos 25^\circ = (57,21) \cos 25^\circ = 51,85 \text{ Ton}$$

$$T_{cy} = T_c \sin 25^\circ = (10,86) \sin 25^\circ = 4,59 \text{ Ton}$$

Se realiza una sumatoria de momentos para determinar F_{FR} , tomando como sentido positivo el sentido antihorario:

$$F_{FR}(54,4m) - T_{H3x}(20m) - T_{cy}(54,4m) = 0 \quad \text{Ec. 12}$$

$$F_{FR}(54,4 \text{ m}) - 51,85 \text{ Ton} (20 \text{ m}) - 4,59 \text{ Ton}(54,4 \text{ m}) = 0$$

$$F_{FR} = 23,65 \text{ Ton}$$

4.3.2 Dimensiones de la boya.

Posteriormente, se deben determinar las dimensiones de la boya, de altura se utilizará la medida de 2,4 m, ya que es la lámina comercial de mayor dimensión disponible en el mercado, por otro lado, el diámetro de 4m se seleccionó, debido a que permite el volumen necesario para una reserva de flotabilidad adecuada de la boya, (ver figura 28). Con estas dimensiones y el principio de Arquímedes se determinará la fuerza de flotabilidad de la boya:

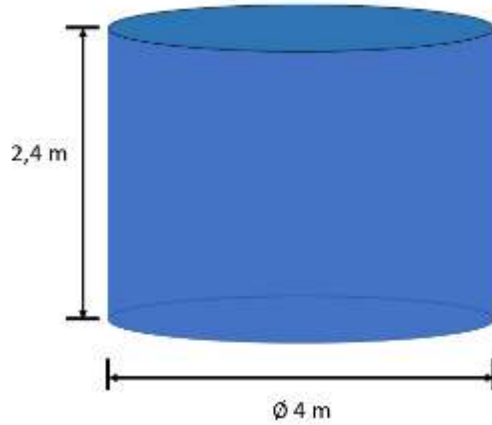


Figura 28. Diagrama simplificado de dimensiones estándar de una boya de amarre.

Fuente: Autores.

Volumen de la boya.

$$V = \pi r^2 h = \pi (2m)^2 (2,4m) = 30,16 m^3 \quad \text{Ec. 13}$$

Peso estándar de la boya.

A partir de datos proporcionados por INCANAL, el peso promedio de una boya de amarre para un sistema multiboya es de $W_B = 8 \text{ toneladas}$. Con estos datos se determina la reserva de flotabilidad de la boya (F_{FBoya}), a partir de la ecuación 14:

$$F_{FBoya} = V \cdot \rho_w - W_B \quad \text{Ec. 14}$$

$$F_{FBoya} = (30,16 m^3)(1025 kg/m^3) - 8000 kg = 22914 kg$$

Luego, se determinará el desplazamiento hidráulico de la boya, el cual es el volumen desplazado y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F_D = V \cdot \rho_w \quad \text{Ec. 15}$$

$$F_D = (30,16 m^3)(1025 kg/m^3) = 30914 kg$$

Por lo que, el porcentaje de inmersión será:

$$\%_{inmersión} = \frac{W_B}{F_D} \cdot 100 = \frac{8000 kg}{30914 kg} \cdot 100 = 25,88\% \quad \text{Ec. 16}$$

El porcentaje de inmersión permite determinar la longitud de inmersión:

$$L_i = \text{Altura}(0,2588) = (2,4 m)(0,2588) = 0,62 m \quad \text{Ec. 17}$$

La longitud de inmersión permite determinar el francobordo de la boya, ya que:

$$G_B = \text{Altura} - L_i = 2,4 m - 0,62 m = 1,78 m \quad \text{Ec. 18}$$

La fuerza resultante F_R , consiste en la diferencia entre la reserva de flotabilidad requerida y la reserva de flotabilidad de la boya, permite determinar si la reserva de flotabilidad de la boya es suficiente, a partir de la ecuación x.

$$F_R = F_{FR} - F_{FBOYA} \quad \text{Ec. 19}$$

Ecuación x

$$F_R = 23650 \text{ kg} - 22914 \text{ kg} = 736 \text{ kg} = 0,736 \text{ Ton} \approx 0$$

Tomando en cuenta solo las fuerzas que hundan a la boya (recordando que está calculada para factores ambientales extremos), la fuerza requerida es ligeramente mayor que la fuerza de flotabilidad de la estructura, lo que significa que el barco hundirá la boya momentáneamente, sin embargo, ésta vencerá dicha fuerza, ya que la diferencia es mínima. Esta proporción mínima se puede observar al tomar en cuenta solo una de las fuerzas que actúan en contra del hundimiento de la boya, como la componente vertical del amarre a dicho barco.

$$57,21 \text{ ton} \cdot \sin 25^\circ = 27,18 \text{ ton} = 27180 \text{ kg}$$

Determinando la proporción entre estas dos fuerzas se tiene que:

$$\frac{736 \text{ kg}}{27180 \text{ kg}} = 0,0270 = 2,7\%$$

El hundimiento representa menos de un 3% de la fuerza en contra de este, por lo que es insignificante.

4.3.3 Diseño estructural.

4.3.3.1 Material de la estructura de la boya.

Se seleccionó realizar la estructura de la boya a partir de láminas de acero estructural ASTM A36, según Cia General de Aceros C.A. “El acero A36 es el material estructural más usado para la construcción de estructuras en el mundo. Es conocido como un acero de fácil soldabilidad, por lo que se utiliza en la construcción de edificios, puentes y estructuras atornilladas y/o soldadas” (2023), cuya composición y propiedades mecánicas (ver tabla 12).

Tabla 13. Composición química del acero ASTM A36.



ASTM A36

Composición química (%)			
C	0.29 Máx	P	0.04 Max.
Mn	0.8 - 1.2	S	0.05 Max.
Si	0.15 - 0.40		

Fuente: CIA General de aceros C.A.

4.3.3.2 Espesor de las láminas de acero.

Sustituyendo en la ecuación 5, se tiene entonces que:

$$t = \left(\frac{sk\sqrt{qh}}{254} \right) + 2,5 \text{ mm}$$

Ec. 5

$s = 800 \text{ mm}$ ya que cuenta con 3 rigidizadores longitudinales.

$$\alpha = \frac{4m}{2,4m} = 1,66$$

$$k = \frac{3,075\sqrt{1,66} - 2,077}{1,66 + 0,272} = 0,976$$

Para Y , según *Metal Supermarkets C.A.* el límite elástico del acero ASTM A36 es de 250 MPa (N/mm^2), (tomado de la tabla 6, pág. 36), mientras que el 72% de la mínima resistencia a la tracción es: $(0,72)(400 \text{ MPa}) = 288 \text{ MPa}$, por lo que se utilizará el menor.

Mechanical Properties	Imperial	Metric
Ultimate Tensile Strength	58,000 – 79,800 psi	400 – 550 MPa
Yield Tensile Strength	36,300 psi	250 MPa
Elongation at Break (in 200 mm)	20.0%	20.0%
Elongation at Break (in 50 mm)	23.0%	23.0%
Modulus of Elasticity	29,000 ksi	200 GPa
Bulk Modulus (Typical for steel)	20,300 ksi	140 GPa
Poissons Ratio	0.260	0.260
Shear Modulus	11,500 ksi	79.3 GPa

$$Y = 250 \text{ N/mm}^2$$

Para h , como la estructura no cuenta con compartimientos vacíos, se utilizará el criterio ii del área sujeta a inmersión por olas, del estudio previo del oleaje en el apartado 4.2.3, se tiene que:

$$h = 1,8 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación 5:

$$t = \left(\frac{sk\sqrt{qh}}{254} \right) + 2,5 \text{ mm} = \left(\frac{(800)(0,976)\sqrt{(0,94)(1,8)}}{254} \right) + 2,5$$

$$t = 6,4984 \text{ mm} < 6,5 \text{ mm}$$

Debido a que mediante los cálculos se obtuvo un valor menor a 6,5 mm, se optó por utilizar la medida comercial siguiente a 6,5 mm disponible en el mercado, es decir, un espesor de lámina de 8 mm. (Ver figura 29).

Dimensiones Disponibles:

CALIDAD ASTM A-36

PESO TEÓRICO POR LÁMINA KGS

ESPESOR ESTÁNDAR (mm)	5	6	8	10	13	16	19	22	25	31	38	50
ANCHO Y LARGO ESTÁNDAR (mm)												
2.400 x 12.000	1.152,0	1.382,4	1.843,2	2.304,0	2.895,2	3.666,4	4.377,6	5.068,8	5.760,0	7.142,4		
2.400 x 6.000										3.571,2	4.377,6	5.760,0

Figura 29. Dimensiones de láminas de acero ASTM A36.

Fuente: Catálogo CABIPERCA, C.A.

4.3.3.3 Refuerzos y vigas.

Al utilizar la ecuación 6:

$$SM = Qfchs\ell^2 \quad \text{cm}^3(\text{in}^3)$$

Ec. 6

Se tiene entonces que:

$$h = 1,2 \text{ m}$$

$$s = 0,8 \text{ m}$$

$$\ell = 2,094 \text{ m}$$

$$Q = 1$$

$$SM = (1)(7,8)(1)(1,2)(0,8)(2,094)^2 = 32,83 \text{ cm}^3$$

Se seleccionaron rigidizadores de láminas de 6mm de espesor de acero ASTM A36.

4.3.3.4 Cartelas internas de la estructura.

Con el objetivo de una distribución apropiada del relleno de la boya y la minimización de posibles burbujas de aire al momento de la expansión de dicho relleno, se seleccionó dividir en seis partes iguales la estructura, mediante láminas de acero ASTM A36 de 8 mm de espesor (igual que el resto de la estructura). Las cuales tendrán dimensiones de 2,4m x 1,84 m.

4.3.3.5 Casco de la estructura.

El casco de la estructura se diseñó con el mismo espesor de lámina que la estructura principal, de igual manera de acero ASTM A36, con diámetro de 4 m (igual que la estructura central), seis aberturas respectivamente para el proceso de llenado de cada uno de los compartimentos de la estructura y una abertura central para el eje de sujeción de la cadena y el gancho de amarre.

- **Gancho de amarre.**

Al tomar en cuenta los cálculos realizados en el apartado 4.2.4, se requiere de un gancho que permita soportar cargas de más de 57,21 Ton. Por esto se seleccionó un gancho de desprendimiento rápido de tipo individual con capacidad de 60 Ton (ver tabla 14 y figura 30).

Buoy Pelican Type Hook Single Manual 60 Tons
- Safe Working Load Per Hook: 60 Tons
- Test Load Per Hook: <u>120</u> Tons

Tabla 14. Carga de trabajo y carga de prueba de gancho de desprendimiento rápido tipo individual.

Fuente: Glen Engineering.



Figura 30. Gancho de desprendimiento rápido tipo individual instalado.

Fuente: Straatman BV C.A.

- **Cadena de anclado.**

En el apartado 4.3.1 se determinó la selección de una cadena con concreto de 90mm de diámetro, y una longitud de la misma de 60 m, cuyas especificaciones (tomadas de la tabla 12, pág. 68).

Diámetro Cadena (mm)	Cadena Concreto kg/27.5m	Eslabón Normal (C)	Eslabón Alargado	Eslabón Final	Grillete Kenter	Grillete Unión	Grillete Final	Giratorio	Ancla Grillete Giratorio A SW A (a)	Ancla Grillete Giratorio A SW A (b)
84	4334	53.50	69.0	74.4	90	136	212	198	931	424
87	4650	58.90	81.1	84.6	96	160	237	215	931	472
90	4976	66.35	88.0	91	108	176	245	238	1191	522
92	5199	71.22	97.5	100	114	196	257	252	1191	558

- **Eje de sujeción de cadena.**

Se seleccionó un tubo sin costura (tipo S), ya que “soportan presiones muy altas sin sufrir ningún daño, mientras que la unión soldada de los tubos con costura constituye a un punto débil, ya que por esa zona pueden agrietarse bajo condiciones de alta presión” (Alsimet C.A., 2021) de acero ASTM A53 grado B y $\varnothing = 12''$, sus propiedades (tomadas de tabla 7, pág. 38)

4.3.4 Diseño de soldadura.

La soldadura de la estructura se dividió en 3 juntas diferentes, la primera siendo la soldadura de la carcasa o estructura externa, la segunda la soldadura de las cartelas internas y rigidizadores, y la tercera la unión entre el eje central y la estructura. Según la norma AWS D1.1 Código de soldadura estructural acero, “En las WPS precalificadas solamente se podrán utilizar los metales base y metales de aporte listados en la tabla 5.3” (p. 63, 2015). (tomados de la tabla 9, pág. 39)

Metales base aprobados para WPS precalificadas (ver 5.3)

G R U P O	Requisitos de la especificación del acero					
	Especificación del acero	Punto límite elástico mínimo		Rango de tracción		
		ksi	MPa	ksi	MPa	
	ASTM A36	≤ 3/4 pulg. [20 mm]	36	250	58-80	400-550
	ASTM A53	Grado B	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A106	Grado B	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A131	Grados A, B, D, E	34	235	58-75	400-520
	ASTM A139	Grado B	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A381	Grado V35	35	240	60 min.	415 min.

Además, a partir esto, se determina que ambos materiales corresponden al grupo de metal base 1, lo que permite determinar el metal de aporte para los procesos de soldadura correspondientes (tomados de la tabla 10, pág. 39)

Tabla 5.4
Metales de aporte para las resistencias coincidentes en Tabla 5.3, metales de los Grupos I, II, III y IV—SMAW y SAW (ver 5.6)

Grupo de metal base	Especificación de AWS del electrodo	SMAW		SAW	
		A5.1, Acero al carbono	A5.5 ^a , Acero de baja aleación	A5.17, Acero al carbono	A5.23 ^a , Acero de baja aleación
I	Clasificación del electrodo de AWS	E60XX E70XX	E70XX-X	F6XX-EXXX F6XX-ECXXX F7XX-EXXX F7XX-ECXXX	F7XX-EXXX-XX F7XX-ECXXX-XX

Tabla 5.4 (continuación)
Metales de aporte para resistencias coincidentes en Tabla 5.3, metales de Grupo I—FCAW y GMAW con núcleo de metal (ver 5.6)

Grupo de metal base	Especificación de AWS del electrodo	PROCESO(S) DE SOLDADURA					
		GMAW		FCAW		GMAW y FCAW con acero al carbono	GMAW y FCAW con acero al carbono y de baja aleación
		A5.18, Acero al carbono	A5.28 ^a , Acero de baja aleación	A5.20, Acero al carbono	A5.29 ^a , Acero de baja aleación	A5.36, Clasificación fija ^b	A5.36 ^b , Clasificación abierta ^c Ver Nota 8 del Apéndice M
I	Clasificación del electrodo de AWS	ER70S-X E70C-XC E70C-XM (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS)	ER70S-XXX E70C-XXX	E7XT-X E7XT-XC E7XT-XM (Los electrodos con el sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14 y -GS se excluirán, y los electrodos con el sufijo -11 se excluirán para espesores mayores a 1/2 pulg. [12 mm].)	E6TX-X E7TX-X E6TX-XC E6TX-XM E7TX-XC E7TX-XM	FCAW con acero al carbono E7XT-1C E7XT-1M E7XT-5C E7XT-5M E7XT-9C E7XT-9M E7XT-12C E7XT-12M E70T-4 E7XT-6 E7XT-7 E7XT-8 (No se incluyen los electrodos con núcleo fundente con sufijos T1S, T3S, T10S, T14S y -GS ni los electrodos con sufijo T11 para un espesor mayor de 1/2 pulg. [12 mm]) GMAW con acero al carbono con núcleo de metal E70C-6M (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS) (NOTA: A5.36 no tiene clasificaciones fijas para otros electrodos con núcleo de metal de acero al carbono o para electrodos con núcleo de fundente de acero de baja aleación o con núcleo de metal)	FCAW con acero al carbono E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-XAX-CS3 FCAW con acero de baja aleación E6XTX-XAX-XXX E7XTX-XAX-XXX GMAW con acero al carbono con núcleo de metal E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 (Se deben excluir los electrodos con sufijo -GS) GMAW con acero de baja aleación con núcleo de metal E7XTX-XAX-XXX

4.3.4.1 Junta N°1, unión de estructura externa.

Se determinó llevar a cabo la unión entre dos láminas de acero ASTM A36 de 8mm de espesor mediante un proceso GMAW de tipo semi automática en posición 1G, en cuanto al metal de aporte se seleccionó el electrodo ER70S-6 de 1,2 mm de diámetro. Por otro lado, en cuanto al gas de protección, se seleccionó ArgoMix (argón/CO2) con composición 80%-20%, respectivamente, y un flujo de 12 l/min. Respecto a técnica, se seleccionó una cantidad de tres pasos con cordones oscilantes, con un espesor máximo por capa de 0,12 pulg cada uno, mediante un avance de 4 pulgadas/min. Sin necesidad de tratamientos térmicos previos o posteriores. En cuanto al tipo de junta, a partir de las especificaciones de la norma AWS D1.1, se seleccionó el doble bisel con las siguientes medidas. Ver figura 31.

Cabe destacar que, el electrodo ER70S-6 es un electrodo de acero al carbono que ofrece excelente soldabilidad con una alta cantidad de elementos desoxidantes para soldaduras donde no pueden seguirse estrictas prácticas de limpieza. Su contenido de silicio y manganeso le confiere excelentes propiedades desoxidantes, lo que asegura una soldadura libre de porosidades sobre una amplia gama de trabajos.

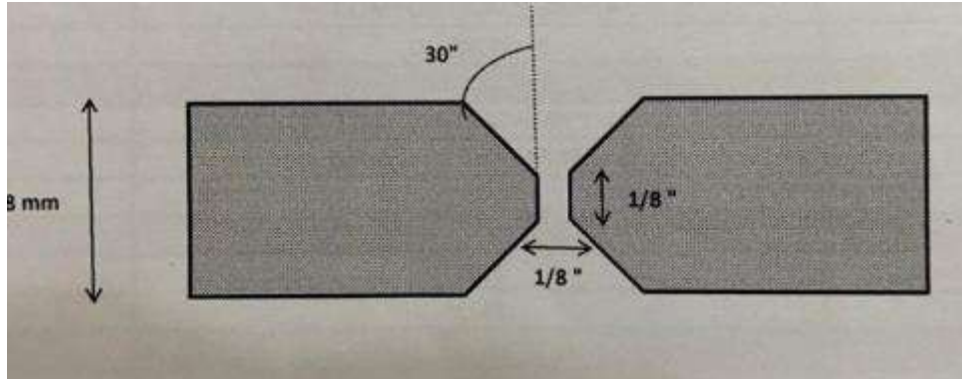


Figura 31. Dimensiones de soldadura de doble bisel.

Fuente: AWS D1.1.

4.3.4.2 Junta N°2, unión de cartelas internas y rigidizadores.

Para esta unión de láminas de acero ASTM A36 de 8 mm de espesor, se seleccionó el proceso SMAW con DC conexión positiva, en posición 2F progresiva con uso del electrodo E-6010 de 3,2 mm de diámetro, en un solo pase. Sin necesidad de realizar ningún tratamiento térmico previo ni posterior. El tipo de junta seleccionado para esta unión fue la soldadura de filete (ver figura 32).

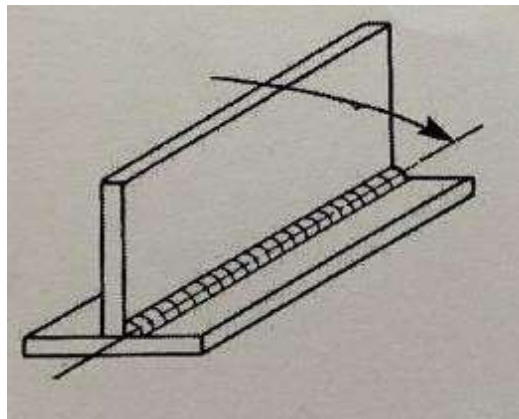


Figura 32. Soldadura de filete en unión entre láminas.

Fuente: AWS D1.1.

4.4.3.3 Junta N°3, unión del eje central.

Se seleccionó el proceso SMAW con DC conexión positiva para esta unión entre el tubo de acero ASTM A53 y la estructura de acero ASTM A36, en dos posiciones, 2F para la unión

superior y 4F para la inferior. Para ambas uniones se seleccionó el electrodo E-7018 de 4mm de diámetro, sin necesidad de realizar ningún tratamiento térmico previo ni posterior. Para esta unión, se seleccionó una junta de filete (tomado de la figura 25, pág. 42).

Cabe destacar que, el electrodo E-7018 es un electrodo revestido básico con alto contenido de hierro en polvo que genera rendimiento de 120%, con depósitos de bajo hidrogeno, tenaces, resistentes al agrietamiento, libres de poros e inclusiones de escoria, que proporciona cordones de apariencia uniforme con fácil remoción de escoria. Se utiliza en soldadura de aceros de bajo y medio carbono hasta 0,45% C, aceros con alto contenido de azufre y fósforo considerados difíciles de soldar y construcciones navales en aceros de los grados A, B, D, y E. Permite soldar en todas las posiciones menos vertical descendente.

4.3.5 Relleno de la estructura.

El relleno seleccionado consiste en un sistema de poliuretano expandido de dos componentes llamado Sinthetan 024VL/Sinthetan IH que “mezclados de forma homogénea y dosificados en relación estequiométrica adecuada, polimerizan, dando como resultado una espuma rígida” (Synthesis C.A., 2022). Dicho relleno cuenta con unas características nominales tabuladas por el fabricante, donde encontramos propiedades y proporciones. (Ver figura 33).

Propiedades	Unidad de Medida	Valor Estándar
Densidad libre	Kg/M3	27-29
Relación de mezcla	Poliol/isocianato	100/100
Tiempo de agitación	Seg	20
Tiempo de crema	Seg	20-40
Tiempo de hilo	Seg	170-190
Tiempo de tacto	Seg	190-210
Tiempo de Vida Útil ¹	Meses	6 a partir de la fecha fabricación
Garantía ²	Meses	5 a partir de la fecha facturación

Fuente: Tabla de valores estándar de productos terminados SINTHESIS C.A.

FRCL-012 / Junio 07 / 0 Fecha Actualización: 31/10/2012

Figura 33. Tabla de valores estándar de productos Synthesis C.A.

Fuente: Synthesis C.A.

Podemos definir las propiedades que son de nuestro interés, las cuales son:

Tiempo de crema: Tiempo que transcurre entre la preparación de la mezcla y el crecimiento de la espuma.

Tiempo de tacto: Tiempo que transcurre entre la preparación de la mezcla y su endurecimiento.

Además, Synthesis c.a, recomienda algunos usos para esta espuma, la cual aplica para: Paneles de construcción, cámaras frigoríficas, relleno de todo tipo de cavidades de tanques,

cámaras de frío en discontinuo, etc. No obstante, nos recomienda una temperatura de aplicación no menor de 40-50 grados, para evitar una sobre densificación de la mezcla y además, garantizar una buena adhesión sobre el sustrato. Por otro lado, es importante resaltar que el polioliol debe ser homogenizado con un agitador durante al menos 5 minutos, (ver figuras 33 y 34) se observan las características de sus componentes u de la espuma en el panel, respectivamente.

CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES

CARACTERISTICAS	UNIDAD	SINTHETAN IH	SINTEHTAN 024VL
Peso específico 25°C	g/cm ³	1,23	1,14
Viscosidad 25°C	mPa.s	230	350
Temperatura de Inflamacion	°C	>200	>170
Contenido NCO libre	%	31	-

Figura 34. Características de los componentes.
Fuente: Synthesis C.A.

CARACTERISTICAS DE LA ESPUMA EN EL PANEL

CARACTERISTICAS	UNIDAD	SINTHETAN 024VL
Desnsidad media aplicada UNE 53215	Kg/m ³	42
Resistencia a la compresion UNE 53205	Kpa	150-200
Estabilidad Dimensional -30 C a +80 C	%Vol	<0,5<1
Reaccion al fuego UNE 23727	Clase	M-2
% Celdas cerradas	%	>90
Coficiente de conductividad termica 20°C UNE 92202	W/m°C	0,022

Figura 35. Características de la espuma en el panel.
Fuente: Synthesis C.A.

En cuanto a la forma de suministro, los productos vienen en tambores de 240 kg el Synthetan 024VL, el cual viene en un tambor naranja y en un tambor negro de 250 kg el synthetan IH. Se seleccionó el uso de una mezcla de 160 kg para cada compartimento de la boya.

4.3.6 Recubrimiento y pintura de la estructura.

Para el recubrimiento primario y la capa de pintura se seleccionó un recubrimiento epóxico de dos componentes curado con poliamida modificado con amida, recomendado para ambientes corrosivos severos de la marca Axalta C.A., cuya aplicación consiste en dos capas de 20 mm de espesor mediante pistola Airless, cuyas propiedades se pueden observar en el anexo A. El color de la pintura se define a partir de la parte III de la norma IALA, según ésta, el color requerido para boyas de amarre es el RAL 1023 (ver figuras 36 y 37).

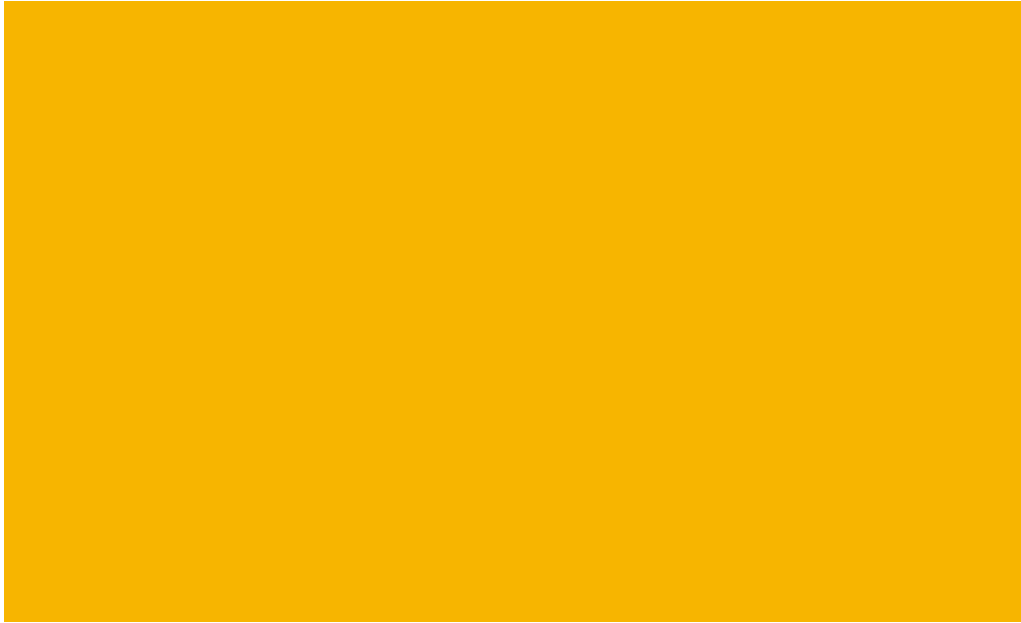


Figura 36. Color RAL 1023.
Fuente: Colores RAL.

CÓDIGO CMYK	CÓDIGO RGB	CÓDIGO CIELAB
C 0 M 27 Y 100 K 3	R 247 G 181 B 0	L* 77.77 a* 12.18 b* 80.41
CÓDIGO HSB/HSV	CÓDIGO HSL	CÓDIGO HEX
H 43 S 100 B 97	H 44 S 100 L 48	#F7B500

Figura 37. Especificaciones Color RAL 1023.
Fuente: Colores RAL.

Por otro lado, para el acabado se seleccionó un poliuretano acrílico alifático de dos componentes, el cual es un producto que consiste en “una base pigmentada que va catalizada con un isocianato alifático, que lo hace ser flexible. Se recomienda como acabado en sistemas para ambientes abrasivos y corrosivos” (Axalta C.A., 2023), cuya aplicación consiste en una aplicación de espesor de 4 mm, y cuyas propiedades se observan en el anexo B.

4.3.7 Protección catódica.

Se seleccionó protección catódica de tipo galvánica, con este método “la superficie de la estructura se hace catódica conectándola a un metal menos noble (ánodo) en un electrolito común. Los elementos más utilizados son el magnesio, el aluminio y el zinc.” (Norma PDVSA HA 201, 2005, p. 24). Además, se seleccionó la protección galvánica ya que es utilizada principalmente para “proteger estructuras donde no se disponga de ninguna fuente de energía eléctrica” (p. 26). Este sistema de protección consiste en 4 ánodos de sacrificio de Zinc, tipo elíptico GAINCA 5P, con peso individual de 5 kg y vida útil de 5 años y potencial mínimo de protección de -800 mV Ag/AgCl, unido a la estructura mediante soldadura. (Ver figuras 38 y 39).



Figura 38. Características de ánodo de Zinc tipo elíptico.
Fuente: GAINCA C.A.

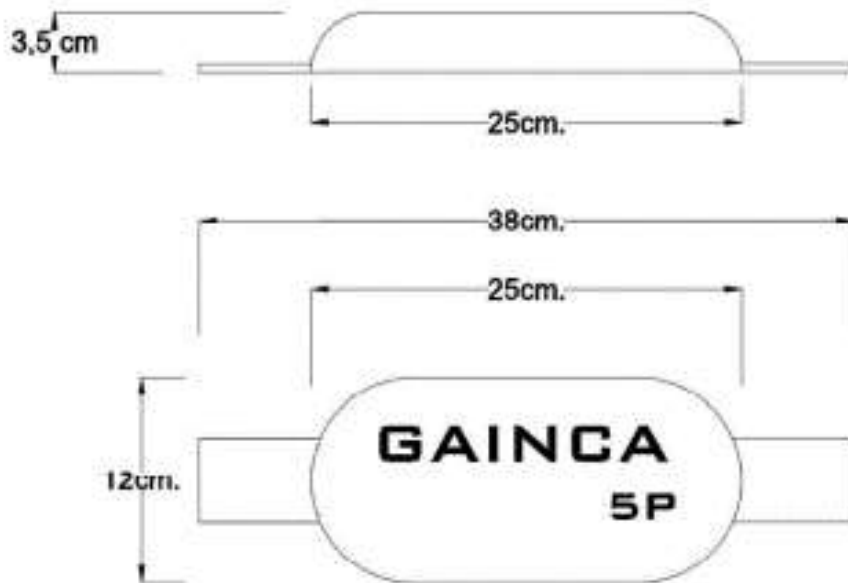


Figura 39. Dimensiones de ánodo de Zinc tipo elíptico.
Fuente: GAINCA C.A.

4.4 Diseñar el modelo de boya de amarre con capacidad de embarcaciones de hasta 30.000 toneladas.

A partir de las selecciones previas de los parámetros requeridos, se diseñó la boya de amarre como se puede observar en las figuras 39, 40, 41 y 42.

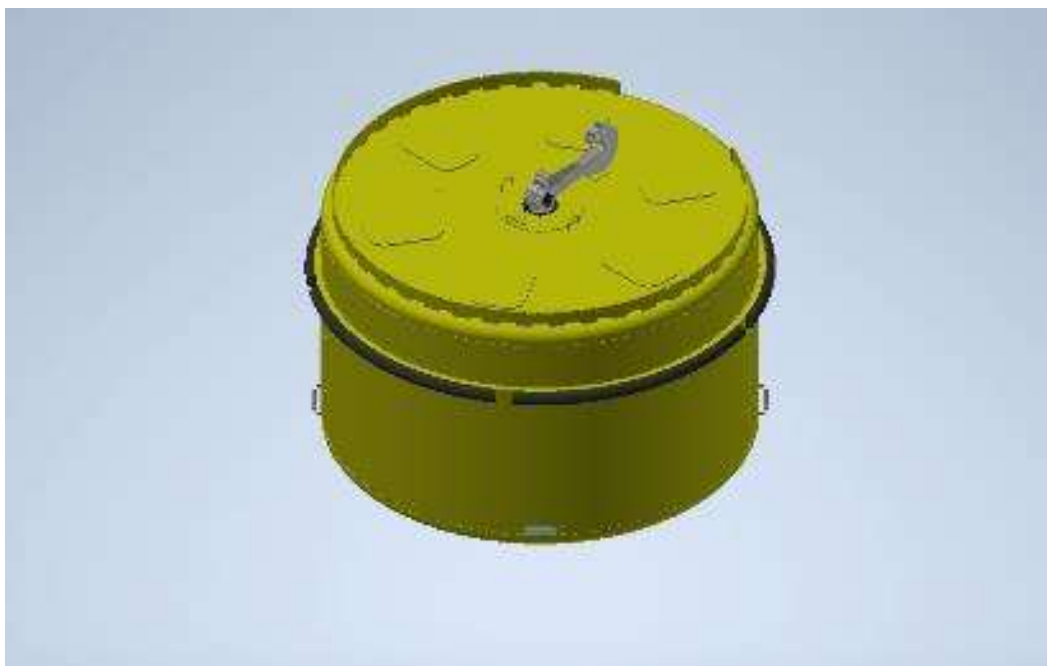


Figura 40. Vista isométrica de diseño de boya de amarre.
Fuente: Autores.



Figura 41. Vista alzado de diseño de boya de amarre.
Fuente: Autores.

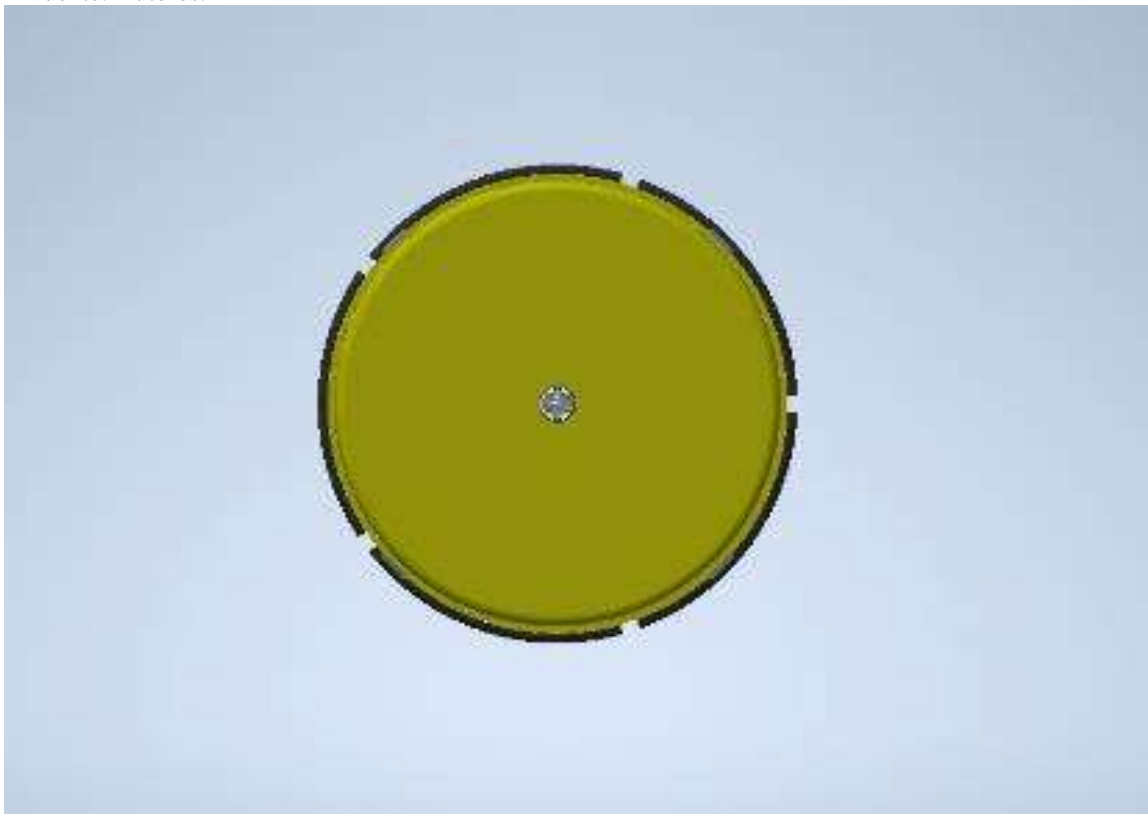


Figura 42. Vista inferior de diseño de boya de amarre.
Fuente: Autores.

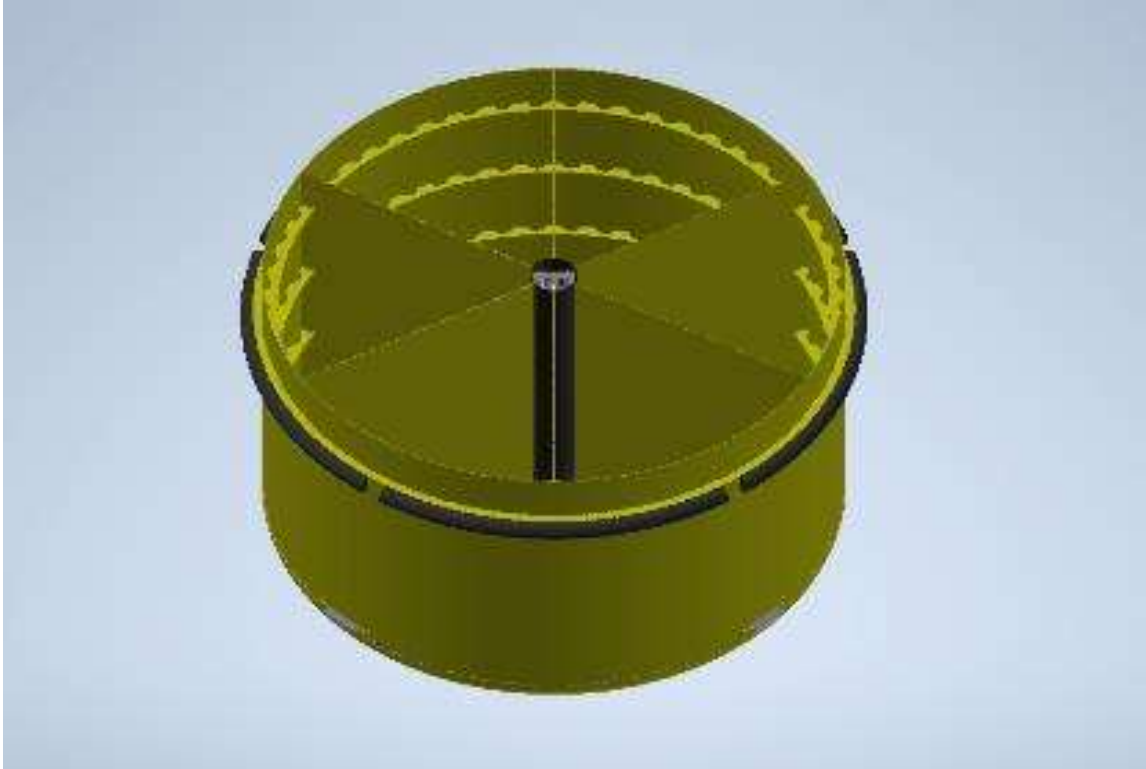


Figura 43. Vista isométrica interna de diseño de boya de amarre.

Fuente: Autores.

4.5 Evaluar la viabilidad económica del diseño seleccionado.

4.5.1 Costo de la inversión.

Los costos asociados a la construcción de este modelo de boya de amarre para embarcaciones de hasta 30.000 toneladas se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Costos de piezas necesarias para la fabricación del modelo de boya de amarre.

Pieza	Unidades	Costo (\$)
Láminas de acero ASTM A36 8mm x 1,2 m x 2,4 m	2	6.920
Láminas de acero ASTM A36 6mm x 1,2 m x 2,4 m	3	5.000
Tubo de acero ASTM A53	1	2.000
Kits para vaciado de poliuretano expansivo de alta densidad	24	7.200
Sacos de arena sílice para sandblasting	195	1.500
Kits de fondo altos sólidos	12	2.280

Galones de poliuretano (pintura)	4	480
Cuñete de thinner	1	60
Ánodos de sacrificio de 10 kg	4	650
Cajas de 15 kg de alambre p/microwire E-70S-6	6	2000
Electrodos 6010	30 kg	
Electrodos 7018	10 kg	
Bombonas de oxígeno	5	
Bombonas de ArgoMix	10	
Bombeo y calandrado estriado		
Mano de obra estimada		5.000
Tornillería		500
Costo de fabricación estimado		34.865 \$

Fuente: Autores.

Una vez observado el cuadro anterior de costos requeridos para la fabricación del modelo de boya de amarre, se procedió a realizar el análisis de factibilidad económica a través del cálculo de la relación costo-beneficio (Ver cuadro 2).

4.5.2 Relación Costo-Beneficio.

Cuadro 2. Relación costo beneficio.

Relación Costo-Beneficio		
$R = \frac{B}{C}$		Ec. 20
R: Relación	B: Beneficio	C: Costo
Condiciones:		
$R > 1$	Rentable , los beneficios superan los costos.	
$R = 1$	Indiferente , los beneficios son iguales a los costos.	
$R < 1$	No rentable , los costos son mayores a los beneficios.	

Fuente: Autores.

Para la evaluación económica del modelo planteado, se utilizó la suma total de costos de fabricación y un 30% de ganancias, lo que da como precio de venta 45.300\$. Por otro lado, fue comparado con el precio estándar de un modelo de boya de amarre para aguas profundas en el mercado internacional, proporcionado por el Instituto Nacional de Canalizaciones, cuyo precio es de 56.000\$. Aplicando la ecuación se obtiene que:

$$R = \frac{56000}{45300} = 1,24 > 1$$

Al ser la relación costo-beneficio mayor a uno (1), se determina que el proyecto es rentable.

CONCLUSIONES

Como resultado del diagnóstico de la situación actual de fabricación de boyas de amarre a nivel nacional, pudo concluirse que existe una necesidad a nivel nacional de reacondicionar los canales marítimos, principalmente a nivel económico en el sector petrolero, pero no limitado a éste, sino también a nivel social y turístico, para, por ejemplo, la exploración segura de los canales marítimos. Dicha necesidad no ha podido ser resuelta debido a una serie de factores, entre los cuales destacan las dificultades de importación de las estructuras y materiales necesarios, así como la falta de inversión en la industria nacional.

Por otro lado, al analizar las variables involucradas en el diseño de boyas de amarre, se llevó a cabo el estudio de los factores medioambientales que influyen en la fuerza de amarre del buque de hasta 30.000 toneladas en la boya de amarre, estos factores están constituidos por la acción del viento, las fuerzas de presión y fricción debidas a la acción de la corriente, y el oleaje. Estos factores fueron estudiados en las costas de Carenero en el estado Miranda, ya que es uno de los puertos con condiciones ambientales más extremas en el territorio nacional. Además, el estudio de estos factores, permitió determinar las cargas en las amarras, de la cual se seleccionó la mayor para el posterior diseño de la estructura.

Luego, al llevar a cabo la selección de la alternativa más viable para las embarcaciones de 30.000 toneladas, se determinó la fuerza de flotabilidad requerida para la boya a partir de las fuerzas que favorecen al hundimiento de ésta, lo cual permitió definir las dimensiones de la estructura. Posteriormente, se seleccionaron los parámetros del diseño estructural, entre los cuales se determinó el uso de acero ASTM A36, las propiedades de los refuerzos internos, la disposición de las cartelas internas y el diseño del casco de la estructura. Así como, la selección del gancho de amarre, la cadena de anclado y el eje de la estructura. Por otro lado, se diseñaron las uniones soldadas respectivas y se seleccionaron los parámetros de relleno, recubrimiento, pintura y protección catódica necesarios para las dimensiones de la boya y las condiciones ambientales para las cuales fue diseñada.

Posteriormente, a partir de los criterios y parámetros definidos y seleccionados en el apartado anterior, se llevó a cabo el diseño del modelo de boya de amarre con capacidad de embarcaciones de hasta 30.000 toneladas, se realizó su modelado en 3D a través del software CAD Inventor, lo que permitió la transición del diseño teórico y selección de los componentes involucrados, al diseño completo de una boya de amarre.

Finalmente, el estudio de viabilidad económica permitió la estimación de costos de fabricación del modelo de boya de amarre. Los aspectos económicos forman parte indispensable del proyecto, debido a que permiten conocer la viabilidad de fabricación nacional a comparación de la adquisición por importación.

RECOMENDACIONES

- Para aquellos interesados en llevar a cabo la fabricación de este modelo de boya de amarre, se recomienda seleccionar a empresas calificadas para los procesos de manufactura requeridos, tales como doblado, soldadura y sandblasting, ya que es de suma importancia la calidad de los acabados tanto en las uniones de la estructura, como en su superficie, debido a que se encontrará en un ambiente hostil para ésta, como es el mar.
- Del mismo modo, para aquellos interesados en llevar esta estructura a cabo, es indispensable respetar los parámetros de aplicación del relleno de la estructura que provee el fabricante, tanto el tiempo de mezcla como el tiempo de aplicación de la misma, para evitar accidentes, ya que el relleno correcto asegura que, en caso de ruptura de la estructura metálica, el relleno actúe como aislante del agua y permita su reparación, permitiendo así alargar la vida útil de la estructura de amarre. Por otro lado, de realizarse un llenado inadecuado, existe el riesgo de espacios vacíos en la estructura, lo que representará un punto débil de ésta y que, en caso de ruptura, la boya no pueda ser reparada y requiera ser sustituida.
- En el mismo orden de ideas, es de suma importancia la correcta elección de los materiales, sus respectivos electrodos, y la elección de un soldador capacitado, para asegurar que las uniones soldadas cumplirán con los parámetros establecidos, y estarán libres de porosidad, inclusiones y en general de cualquier imperfección que conlleve a una posible filtración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aister, A. (2018, 31 de enero). *3 razones por las que utilizar pantalanes de aluminio*. Aister. <https://aister.com/es/aister/ventajas-pantalanes-aluminio/>
- Alemán, J. (2016). *Comparación entre el diseño de amarre por métodos manuales y Moses* (Trabajo de grado, Universidad Católica Andrés Bello).
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación*. Editorial Episteme: Caracas, Venezuela.
- Arias, F. (2016). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. (5ta ed). Editorial Episteme: Caracas, Venezuela.
- Balestrini, M. (2006). *Cómo se Elabora el Proyecto de Investigación*. (4ta ed.). Editorial Consultores Asociados: Caracas, Venezuela.
- Barcaza. (10 de enero de 2023). En Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Barcaza>
- Barrantes, R. (2014). *Investigación, Un camino al conocimiento, Un Enfoque Cualitativo, Cuantitativo y Mixto*. San José, Costa Rica, Editorial EUNED.
- Barreto, M. (2015). *Análisis dinámico de buques atracados sometidos a fuerzas de oleaje* (Trabajo de grado, Universidad de Puerto de Portugal).
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. (3ra ed). Pearson Educación de Colombia Ltda.
- Blanco, D. (2016, 8 de marzo). *Muelles de Puerto Cabello registran 80% de desocupación*. El Carabobeno. <https://www.el-carabobeno.com/Muelles-de-Puerto-Cabello-registran-80-de-desocupacion/>
- Capris, C.A. (2023). *Electrodos 7018*. <https://www.capris.cr/cr/eca-electrodos-7018-electrodo-revest-soldadura-por-arco-5-32-kilo.html>
- Chávez, O (2007). *Como elaborar Trabajos de Investigación*. (2da ed) Trillas. México.
- Clínica Universidad de Navarra. Diccionario Médico. Consultado el 10 de enero de 2023. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/homogeneidad>
- Da Costa, D (2015), *Estudio paramétrico de las fuerzas en sistemas de amarre para buques amarrados en puertos* (Trabajo de grado, Universidad de Puerto de Portugal).
- Eslora. (10 de enero de 2023). En Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Eslora>
- Flotabilidad. (10 de enero de 2023). En Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Flotabilidad>

- Grupo Girard. (2018, 13 de abril). *Principales puertos de Venezuela*. [Post]. Facebook. <https://www.facebook.com/grupogiraudweb/posts/los-principales-puertos-de-venezuela-son-amuay-bajo-grande-el-tablazo-la-guaira-/1717557034992904/>
- Grupo OHLA. (s. f.). *Muelle y explanada exterior al dique junto a Isla Verde*. Consultado el 20 de enero de 2023. <https://ohla-group.com/portfolio-item/muelle-y-explanada-exterior-al-dique-junto-a-isla-verde/>
- Hernández, S., Fernández, C. y Baptista, L. (2015). *Metodología de la investigación*. (5ta ed). McGraw Hill Interamericana Editores: México.
- Hurtado de Barrera, J. (2015). *El Proyecto de Investigación: Comprensión Holística de la Metodología y la Investigación*. (5ta ed). Fundación Sypal: Caracas, Venezuela.
- INEA. (2022, 15 de diciembre). *Sector Acuático firmó un total de 40 proyectos con empresarios públicos y privados en la Expo Transporte Internacional 2022*. Instituto Nacional de los Espacios Acuáticos. <http://www.inea.gob.ve/action/noticia?id=502>
- Ingenia, T. (2021, 28 de junio). *Dos duques de alba*. Ingeniatte. <https://ingeniatte.es/actualidad/dos-duques-de-alba-frente-al-guadalhorce/>
- Item, G. (2020). *Teoría de la energía de la distorsión*. Glossar Item 24. Consultado el 15 de enero de 2023. <https://glossar.item24.com/es/indice-de-glosario/articulo/item//teoria-de-la-energia-de-distorsion-1.html>
- Latorre, A., del Rincón, D. y Arnal, J. (2005). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Barcelona: experiencia.
- Llorca, J., González, J. y Ametller S. (2012). ROM 2.0-11 Recomendaciones para el Proyecto y Ejecución en Obras de Atraque y Amarre. Ministerio de Fomento del Gobierno de España. <https://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%202.0-11.pdf>
- Martins, J. (2022, 16 de agosto). *Teoría de las restricciones y sus principios*. Asana. Consultado el 15 de enero de 2023. <https://asana.com/es/resources/theory-of-constraints>
- Mesemar. (s. f.). *Boyas de amarre*. MSM. Consultado el 10 de enero de 2023. <https://mesemar.com/cat/boyas/boyas-de-amarre/>
- Metal Supermarkets. (2017, 14 de febrero). *Grade Guide: A36 Steel*. <https://www.metalsupermarkets.com/grade-guide-a36-steel/>
- MPPT. (2020, 20 de febrero). *Incanal trabaja en la consolidación del Plan Estratégico Nacional de Hidrovías*. Prensa Incanal. <http://www.mppt.gob.ve/2020/incanal-trabaja-en-la-consolidacion-del-plan-estrategico-nacional-de-hidrovias/>

- Palella, S. y Martins, F. (2006). *Metodología de la investigación cuantitativa*. (2da ed). Fedupel.
- Palella, S. y Martins, F. (2010). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. (3ra ed.). FEDUPEL: Caracas, Venezuela.
- PDVSA. (2019). *Refinación*. <http://www.pdvsa.com/images/pdf/cuadernos/Refinacion.pdf>
- PDVSA. [@PDVSA]. (2015, 18 de junio). *Hoy, la refinería #Amuay tiene 5 muelles para atender simultáneamente a 7 barcos y 1 muelle para el manejo de coque*. [Gráfica] [Tuit]. Twitter. <https://twitter.com/pdvsa/status/636162228547383296?lang=hr>
- Popa. (10 de enero de 2023). En Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Popa>
- Proa. (10 de enero de 2023). En Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Proa>
- Real Academia Española: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.6 en línea]. <https://dle.rae.es> [Consultado el 10 de enero de 2023].
- Rey, F. (2016). Las terminales de Contenedores [Trabajo fin de Máster, Universidad Pontificia Comillas, España]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/24744/retrieve>
- Rincón, I. (2011, agosto). *Investigación científica e investigación tecnológica como componentes para la innovación*. <https://www.eumed.net/rev/cccss/13/ibrs.html#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20tecnol%C3%B3gica%20comprende%20con,estudio%2C%20persiguiendo%20un%20conocimiento%20pr%C3%A1ctico>
- Sabino, C. (2006). *El proceso de Investigación*. (actualización). Editorial Panapo: Caracas.
- Sastre, M. (2016). *Análisis y automatización de los sistemas de amarre de un buque* (Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Cataluña)
- Sousa, E. (2022, 14 de mayo). *El desarrollo de los Puertos Venezolanos*. Revista Marítima y Portuaria. <https://revistamaritima.com/2022/05/14/el-desarrollo-de-los-puertos-venezolanos/>
- Tamayo y Tamayo, M. (2012). *El proceso de la investigación científica*. (4ta ed). Editorial Limusa: México.

- VTV. (2022, 11 de diciembre). *Muestran avances en la fabricación de boyas de navegación en la Expo Transporte Venezuela Internacional 2022*. AVN. <https://www.vtv.gob.ve/incanal-boyas-buques-expo-transporte-venezuela/>
- Yuni, J. y Urbano, C. (2014). *Técnicas para investigar. Recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación*. vol 2. Editorial brujas. Recuperado de: <http://abacoenred.com/wp-content/uploads/2016/01/T%C3%A9cnicas-para-investigar-2-Brujas-2014-pdf.pdf>
- Zaldivar, A. (2020, 06 de abril). *¿Qué es un oleaje?* <https://albertozaldivar.com/que-es-un-oleaje/>

ANEXOS

ANEXO A

Propiedades de recubrimiento epóxico.

Fuente: AXALTA C.A.

Relación de mezcla

Apariencia

Semimate

Color

Ver carta de colores

Presentación

Base color..... 4 y 18 litros

Catalizador..... 4 y 18 litros

Peso por presentación

	Base	Catalizador
4 Litros	4.89 – 6.85 kg	5.41 – 5.60 kg
18 Litros	22.18 – 24.79 kg	24.52 – 25.38 kg

Relación de Mezcla

No requiere tiempo de inducción:

Base 25P 1 parte

VF-525 1 parte

Vida Util de la Mezcla

8 horas a 25°C y 50% HR

Compatibilidad

Al ser utilizado como primario, puede ser recubierto con esmaltes epóxicos Corlar® 26P o de poliuretano Imron® 10P o Imron® 42P.

Como intermedio o acabado, es compatible con primarios ricos en zinc Ganicin® 347 o Corlar® OZ y otros primarios epóxicos Corlar®.

Caducidad

24 meses a partir de su fabricación.

Aplicación

No aplique si el material, el sustrato o temperatura ambiente es menor a 7 °C o mayor a 43 °C. El sustrato debe estar al menos 3 °C por arriba de la temperatura del punto de rocío. La humedad relativa debe ser menor del 85%.

• Usos Recomendados

Como recubrimiento único puede aplicarse en espesores de 5 a 12 mils EPS.

Como primario en sistemas de 2 ó 3 componentes de 3 – 5 mils EPS; como enlace de 4 – 6 mils EPS.

Gran durabilidad y adherencia en acero galvanizado, mampostería y concreto.

Excelente resistencia en estructuras de acero que estén sometidas a humedad o inmersión.

• Preparación de la superficie

La superficie deberá estar libre de polvo y grasa antes de proceder a su preparación.

Como primario, se recomienda la preparación de la superficie con chorro abrasivo SSPC-SP10 (grado metal casi blanco).

La preparación manual SSPC-SP2 o mediante herramientas eléctricas SSPC-SP3 es aceptable en ambientes con restricciones.

Para inmersión, se recomienda la limpieza SSPC-SP5 (preparación con chorro de abrasivo grado metal blanco) dejar 7 días de curado para poner en operación el equipo recubierto.

• Temperatura máxima de servicio

93°C en servicio continuo.

148°C en servicio intermitente.

Reductor

Condiciones normales 99P103

Condiciones extremas 99P104

• Porcentaje de Reducción

Brocha o rodillo..... 10 – 15 %

Aspersión..... Hasta 20 %

Equipos de Aplicación

Puede ser aplicado con brocha, rodillo, aspersión o airless.

Aplicación con Pistola

	Binks	De Vilbiss	Graco
Pistola	95	JGA-510 / JGHV-531	800 ó 900
Tobera	66 ó 67	E, FF ó FX	04 ó 086
Boquilla	63PE ó 67PB	705, 704, 765	026 03

Aplicación con Airless

Bomba	30:1 Bulldog (Graco)
Filtro alta presión	Malla 60
Mangueras	3/8" x 45 mts (150 ft) máxima
Pistola airless	Graco 207945 ó 208663
Tips (boquilla)	0.015" – 0.027"
Presión mínima	2,000 psi.
Presion en la pistol	40 – 60 psi



Tiempos de secado

Al Tacto	2 – 3 horas
Para aplicar acabado	12 – 18 horas
Para Repintar	4 horas
Curado Total y servicio de inmersión	7 días
Por Aspersión	
Oreo entre Manos	10 minutos.

Propiedades Físicas

VOC	2.81 lb/gal
Rendimiento Teórico	27.50 m ² /lt listo para aplicar a 1 milésima de espesor de película.
Sólidos en peso	79.55 %
Sólidos en Volumen	70.00 %
Espesor de Película Húmeda	4 – 28 milésimas de pulgada
Espesor de Película Seca	2 – 16 milésimas de pulgada
Viscosidad de aplicación	24 – 28 seg. en copa Zahn #2
Viscosidad de empaque Stormer	65 – 100 Ku's
Densidad	1.27 – 1.41 kg/lt
Resistencia Química*:	
Humedad	Excelente
Interperismo	Susceptible al caleo por la radiación UV.
Solventes	Excelente
Ácidos	Excelente
Álcalis	Excelente
Sales	Excelente

ANEXO B

Propiedades de recubrimiento de poliuretano acrílico alifático.

Fuente: AXALTA C.A.

Relación de mezcla

Apariencia

Brillante

Color

Ver carta de colores

Presentación

Base 80P204..... 16 litros

Catalizador 80P222..... 1 litro

Relación de Mezcla

80P204	4 partes
80P222	1 parte
Tiempo de Inducción	No requiere

Tiempo de vida de la mezcla

2 a 4 horas a 25°C y 50% HR

Caducidad

Base: 24 meses después de su fabricación.

Catalizador: 12 meses después de su fabricación.

Sistemas Recomendados

Como acabado forma parte de los sistemas:

Sistema 1:

Procor HP Primario EPX80 + Procor HP Intermedio EPX80 + Procor HP PU70

Sistema 2:

Procor HP EP70 Prim Org de Zinc + Procor HP Intermedio EPX80 + Procor HP PU70

Sistema 3:

Procor HP Prim Inorganico de Zinc+ Procor HP Intermedio EPX80 + Procor HP PU70

Aplicación

No aplique si el material, el sustrato o temperatura ambiente es menor a 7 °C o mayor a 43 °C. El sustrato debe estar al menos 3 °C por arriba de la temperatura de punto de rocío. La humedad relativa debe ser menor del 85%.

• Usos Recomendados

Como parte de los sistemas es un acabado recomendado para estructuras en general, adecuado para instalaciones superficiales en refinerías, complejos petroquímicos, maquinas en general, equipos, tuberías de proceso operando hasta 93 °C de temperatura continua, área de presa de lodos, cuarto de químicos, paquetes de líquidos, parte interior de cuartos, patio de tuberías, barandales, cantilliver's, interior de instalaciones con aire acondicionado, cubiertas y casetería de embarcaciones, bajo helipuerto y paquete habitacional.

• Preparación de la superficie

La superficie donde se vaya a aplicar debe estar perfectamente limpia y libre de polvo. Si la superficie presenta trazas de algún contaminante, se deberá lavar con agua, jabón y secar completamente. Para la aplicación sobre primarios y enlaces, consultar tiempos para recubrir.

• Temperatura máxima de servicio

90 °C en servicio continuo.

120 °C en servicio intermitente.

Reductor

Condiciones normales..... 80P129

Condiciones extremas..... 80P199

• Porcentaje de Reducción

Aspersión..... 10 – 20 %

Brocha o rodillo..... 5 – 10%

Equipos de Aplicación

Puede ser aplicado con brocha, rodillo, aspersión convencional y airless.

Aplicación con Pistola

	Binks	De Vilbiss	Graco
Pistola	95	JGA-510 / JGHV-531	800
Tobera	96	E o F	03 ó 04
Boquilla	63PB	705, 704, 765	02,021 ó 03

Aplicación con Airless

Bomba	28:1 Bulldog (Graco)
Filtro alta presión	Malla 60
Mangueras	3/8" x 45 mts.(150 ft) máxima
Pistola airless	Graco 208663
Tips (boquilla)	0.015" - 0.017"
Presión mínima	80 - 100 psi.
Aplicación por aspersión	
Presión en la pistola	40 – 60 psi

Tiempos de secado

Tiempos de secado a 25° C y 50% C.H.R

Al Tacto	4 – 6 horas
Para repintar	6 – 8 horas
Curado total	7 días
Por Aspersión	
Oreo entre Manos	10 – 15 minutos

Propiedades Físicas

VOC	2.46 lb/gal
Rendimiento Teórico	27.6 m ² /lt listo para aplicar a 1 milésima de espesor de película.
Sólidos en peso	Min 79%
Sólidos en Volumen	70%
Espesor de Película Húmeda	3 – 5 milésimas de pulgada
Espesor de Película Seca	2.1 – 3.5 milésimas de pulgada

Resistencia Química*:

Humedad	Excelente
Interperismo	Excelente
Solventes	Muy Bueno
Derrames/Salpicaduras de Ácidos	Bueno
Derrames/Salpicaduras de Alcalis	Bueno
Sales	Excelente
Abrasión	Excelente

* Sobre sistemas epóxicos es excelente para ambientes corrosivos severos.

PLANOS

