

INFORME TÉCNICO

DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE FONDEO DE LAS BOYAS DE AMARRE

**TERMINAL SICA SICA
YPFB TRANSPORTE S.A.**

ARICA



INFORME TÉCNICO

DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE FONDEO DE LAS BOYAS DE AMARRE

TERMINAL SICA SICA
YPFB TRANSPORTE S.A.

ARICA



Mayo 2025

N°101- 05 025-DIM/YPFB-01
Rev. 1
Viña del Mar, mayo de 2025

REV	FECHA	EMITIDO PARA	REVISÓ	DESTINO	OBSERVAC.	FECHA
1	05/2025	APROB.	CBJ	DOP		

ÍNDICE

GENERALIDADES	7
RESUMEN	8
I.- INTRODUCCIÓN	9
II.- OBJETIVO	9
III.- ANTECEDENTES DEL PROYECTO Y DE LA NAVE DE DISEÑO	9
1.- Ubicación del Terminal Multiboyas	9
1.1.- Terminal Marítimo y elementos de amarre	10
2.- Nave tipo o de diseño	11
2.1.- Características generales de la Nave tipo	11
2.2.- Plano de Arreglo General de la Nave Tipo	12
IV.- DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL ÁREA	13
1.- Vientos	13
2.- Corrientes	14
3.- Olas	14
4.- Calidad del fondo	15
5.- Mareas	15
6.- Batimetría	15
V.- ESTUDIO DE MANIOBRABILIDAD	15
VI.- EXTRACTO DEL ADENDUM AL ESTUDIO DE MANIOBRABILIDAD	15
VII.- DISPOSICIÓN Y COMPOSICIÓN DEL SISTEMA DE BOYAS	27
1.- Diagrama disposición de boyas de amarre	27
2.- Composición de las boyas de amarre	28
VIII.- METODOLOGÍA	29
1.- Normas técnicas, recomendaciones, circulares y software	29
2.- Aspectos metodológicos	30
3.- Detalle de la metodología a ejecutar	31
3.1.- Cálculo de fuerzas que ejercen los esfuerzos exteriores, condiciones ambientales	31
3.2.- Fuerza a aplicar en los cálculos de dimensionamiento	31
3.3.- Determinación del peso del ancla y dimensiones de las cadenas de la boya	31
3.4.- Determinación de los largos mínimos de las cadenas	32
3.5.- Determinación de capacidad de la maniobra de fondeo y su factor de seguridad	32
3.6.- Factores de seguridad	32
3.7.- Factor de seguridad resultante de la maniobra de fondeo por cada boya	32
3.8.- Resumen de Factores y valores de seguridad	33
4.- Determinación de fuerzas	33
IX.- MEMORIA CÁLCULO DE FUERZAS	33
1.- Cálculo de las forzantes exteriores sobre la nave	33
2.- Fuerzas resultantes	34
2.1.- Fuerza combinada resultante	34
X.- DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO DE LA MANIOBRA DE FONDEO DE BOYAS DE AMARRE	35
1.- Cargas horizontales mínimas de amarre	35
2.- Determinación de Carga sobre los puntos de amarre (boyas)	35

3.-	Composición de elementos de la boya de amarre	35
3.1.-	Ancla	36
3.2.-	Cadenas de trabajo	38
3.2.1.-	Determinación del diámetro de la cadena	38
3.2.2.-	Determinación de la longitud mínima de la cadena	38
4.-	Dimensionamiento de los elementos de fondeo de la boya	40
4.1.-	Cálculo teórico	40
4.2.-	Resultados del cálculo teórico	41
5.-	Sistema de fondeo a dimensionar	41
5.1.-	Determinación de la capacidad para resistir las solicitudes por cada boya.	41
5.2.-	Boyas y sistemas de fondeo definidos a dimensionar	42
5.2.1.-	Cálculo de fuerzas y factor de seguridad Boya N°1 – Sur	43
5.2.2.-	Cálculo de fuerzas y factor de seguridad Boya N°2 – Centro	45
5.2.3.-	Cálculo de fuerzas y factor de seguridad Boya N°3 – Norte	47
5.3.-	Cuadro resumen de factores de seguridad y fuerzas para el diagrama de boyas	49
6.-	Determinación de la Retenida	50
6.1.-	Fuerzas exteriores que se ejercen sobre la Boya	50
6.1.1.-	Fuerza combinada resultante	50
6.2.-	Cálculo de dimensionamiento de la retenida	50
6.3.-	Cálculo de longitud de cadena de la retenida	51
6.4.-	Resumen	51
6.5.-	Cálculo de las retenidas	52
6.5.1.-	Boya N°1, N°2 y N°3	52
6.5.1.1.-	Resistencia de la Retenida	52
6.5.1.2.-	Factor de seguridad retenida	52
XI.-	DETERMINACIÓN DE MÁXIMAS SOLICITACIONES DE LAS BOYAS	53
1.-	Aplicación software “OPTIMOOR”	53
2.-	Consideraciones para aplicar software OPTIMOOR	53
3.-	Diagrama y Tabla de resultados simulación	54
4.-	Datos de entrada software OPTIMOOR	55
4.1.-	Condiciones ambientales	55
4.2.-	Condiciones a utilizar en las corridas de simulación	55
4.3.-	Condiciones especiales de simulación	56
4.4.-	Datos del Terminal multiboyas Sica Sica	56
4.5.-	Datos de entrada software OPTIMOOR Nave OT220	56
5.-	Resultados de Corridas de simulación nave OT220	57
5.1.-	Resultados con posición nave amarrada con Proa al 230°	57
5.2.-	Análisis de resultados corrida de simulación	59
5.3.-	Curva de vientos máximos para no sobrepasar los límites de movimiento de la nave.	59
5.4.-	Curvas de ola máxima para no sobrepasar los límites de movimiento de la nave.	60
5.5.-	Curvas de estados del mar máximos para no sobrepasar los límites de movimiento de la nave	60
5.6.-	Resultados de la simulación	61
XII.-	CONCLUSIONES	62

ANEXOS

Anexo "A" Resoluciones del SHOA que aprueban estudios oceanográficos	63
Anexo "B" Estudio de Maniobras archivo digital	64
Anexo "C" Tablas de dimensiones de Cadenas	65
Anexo "D" Formulación cálculo fuerzas según ROM 3.1-99	68
Anexo "E" Fuerzas resultantes según ROM 3.1-99	74
Anexo "F" Estudio fondo marino posición fondeo de anclas	80
Anexo "G" Planos	84

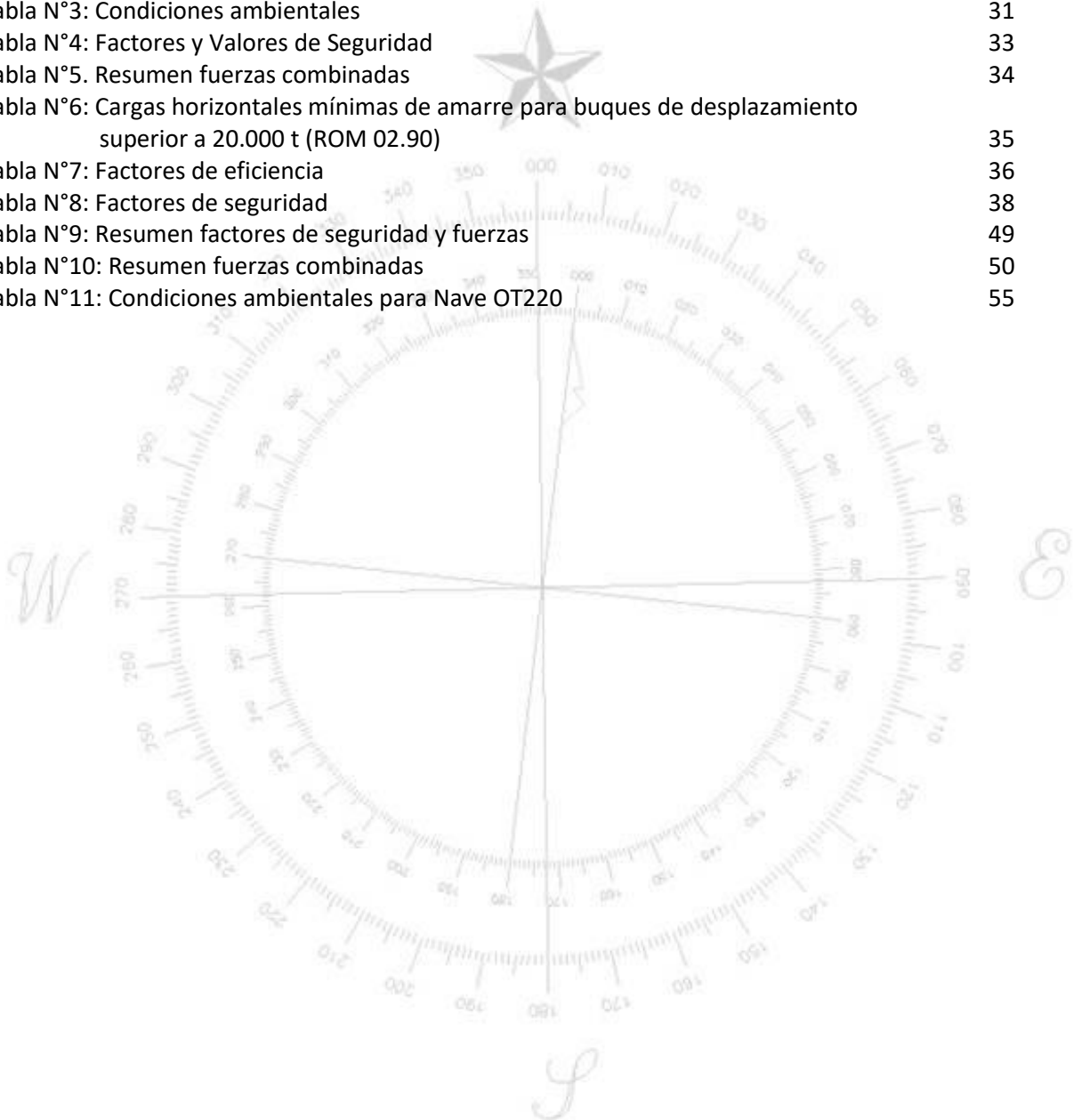
ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. N°1: Ubicación terminal marítimo. Carta SHOA N°1111	9
Fig. N°2: Imagen de Google Earth de la Instalación Portuaria en la Rada de Arica	10
Fig. N°3: Terminal Sica Sica y cañería submarina	10
Fig. N°4: Plano de arreglo general de nave OT de 220 metros de eslora	12
Fig. N°5: ZEP, separación de tráfico y enfilación de aproximación	17
Fig. N°6: Extracto plano Maniobra de Aproximación naves tipo de esloras superiores a 160 metros	18
Fig. N°7: Vista desde el mar de la Señal de la enfilación de aproximación. Luz de sector	18
Fig. N°8: Extracto plano Maniobra de Aproximación naves tipo de esloras inferiores a 160 metros	19
Fig. N°9: Posición de fondeo ancla de Estribor buque de eslora mayor a 160 metros	20
Fig. N°10: Posición de fondeo ancla de Estribor buque de eslora menor a 160 metros	20
Fig. N°11: Posición de fondeo ancla de Babor, buque de eslora mayor de 160 metros	21
Fig. N°12: Posición de fondeo ancla de Babor buque de eslora menor de 160 metros	21
Fig. N°13: Vista de boyarines y mástil del ducto submarino	22
Fig. N°14: Imagen de los boyarines de término del rígido y del flexible respectivamente	22
Fig. N°15: Maniobra de amarre, pasada de amarras a boyas	23
Fig. N°16: Nave en posición final amarrada al Terminal	23
Fig. N°17: Imagen de amarras desde el buque a las boyas	24
Fig. N°18: Imagen de amarras a boya N°1-Sur	24
Fig. N°19: Esquema maniobra de fondeo y amarre al Terminal buques de esloras superiores a 160 metros	24
Fig. N°20: Esquema maniobra de fondeo y amarre al Terminal buques de esloras de hasta 160 metros	25
Fig. N°21: Gráfico de la maniobra de desamarre y zarpe	26
Fig. N°22.: Diagrama ROM 3.1-99, Parte 8, punto 8.8.5	27
Fig. N°23: Diagrama de disposición de las boyas y sus elementos de fondeo	28
Fig. N°24: Imagen disposición elementos de fondeo de cada boya a instalar	29
Fig. N°25: Diagrama de flujo para dimensionar el tipo de ancla adecuado (DM26-5)	35
Fig. N°26: Ancla de alto poder de agarre. AC 14 HHP	37
Fig. N°27: Ejemplo de forma de trabajo del ancla	37
Fig. N°28: Tabla N°4 de la publicación BS 6349, Parte 6	38
Fig. N°29: Componentes Curva de la Catenaria	39
Fig. N°30: Diagrama de boyas diseñado	42
Fig. N°31: Diagrama Fuerza resultante = F, válido para las 3 boyas	43
Fig. N°32: Esquema Boya N°1	44
Fig. N°33: Esquema Boya N°2	46
Fig. N°34: Esquema Boya N°3	48

Fig. N°35: Movimientos de un buque amarrado	54
Fig. N°36: Movimientos de un buque amarrado	54
Fig. N°37: Diagrama General de amarre con proa al 230°	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Frecuencia con intensidad y dirección del viento	13
Tabla N°2: Corrientes de verano e invierno	14
Tabla N°3: Condiciones ambientales	31
Tabla N°4: Factores y Valores de Seguridad	33
Tabla N°5: Resumen fuerzas combinadas	34
Tabla N°6: Cargas horizontales mínimas de amarre para buques de desplazamiento superior a 20.000 t (ROM 02.90)	35
Tabla N°7: Factores de eficiencia	36
Tabla N°8: Factores de seguridad	38
Tabla N°9: Resumen factores de seguridad y fuerzas	49
Tabla N°10: Resumen fuerzas combinadas	50
Tabla N°11: Condiciones ambientales para Nave OT220	55



GENERALIDADES

a.- Identificación Empresa Responsable

Empresa Responsable: Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, Transporte S.A.
Nombre del Representante: Fidel José Castro Ponce
Cargo del Representante: Jefe Operativo Oleoductos Arica
Dirección: Renato Rocca # 1999 - Arica
Teléfono: 56 58 2222 474
Correo electrónico de contacto: Fidel.castro@ypfbtransporte.com.bo

b.- Identificación Empresa Consultora

Nombre Empresa : GeoMarine System Spa
Representante Leg. : Christian Kocking Bannen
Dirección : 4 Norte # 1179, Viña del Mar
Teléfono : (32) 2697402 / (32) 2697565
e-mail : ckocking@geomarine.cl
Asesores Marítimos : Carlos Bidart Jiménez
: Francisco Martínez Villarroel
: Christian Kocking Bannen
e-mail asesor : cbidart@geomarine.cl
Código Postal : 2531105

c.- Identificación de representante Empresa responsable para efectuar trámites relacionado con el Informe Técnico ante la Dirección de Obras Portuaria y Dirección Técnica.

Nombre Empresa : GeoMarine System
Representante : Carlos Bidart Jiménez
Dirección : 4 Norte # 1179, Viña del Mar
Teléfono : (32) 2697402 / (32) 2697565
e-mail : cbidart@geomarine.cl
Código Postal : 2531105

RESUMEN

El presente informe es un análisis del dimensionamiento del sistema de amarre del Terminal Marítimo SICA SICA de la Compañía YPFB Transporte S.A. en la bahía de Arica, Región de Arica y Parinacota, considerando las dimensiones de la nave tipo máxima a operar.

El sistema considera un posicionamiento simétrico de las boyas de amarre y su composición cumple con las normas establecidas por la OCMIF y ROM. Además, está diseñado para las maniobras de amarre que se establecen en el estudio de maniobrabilidad, el cual determina la orientación final de la nave con proa en la dirección de la ola predominante en las condiciones límites de operación.

Se ha aplicado la normativa indicada en la ROM 3.1-99, considerando los factores medioambientales, la profundidad del sector, las características del fondo marino, las boyas de amarre con sus elementos de fondeo y las características de la nave tipo, para obtener como resultado las fuerzas resultantes y con ello determinar las cadenas y anclas a emplear para resistir las solicitaciones de la nave tipo en las posiciones de carguío definidas.

Se determinaron las máximas fuerzas para cada boya mediante la aplicación del software OPTIMOOR, considerando la nave tipo amarrada y los resultados indican que el sistema posee la capacidad para resistir las solicitaciones, con factores de seguridad adecuados conforme a lo establecido en las normas.

I.- INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Circular A-31/ 002 de agosto de 2023 de la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, en una Instalación Portuaria donde se introducen cambios en la infraestructura de amarre y aumentos en la eslora y desplazamiento de las naves, como es el presente caso, es necesario confeccionar y presentar un informe a la D.O.P. para que este organismo certifique que las boyas y sus complementos poseen la capacidad para resistir las solicitudes impuestas por la nave tipo máxima a operar.

En base a lo expuesto, el presente informe técnico se prepara y presenta ciñéndose a lo establecido en el documento de la DOP "Procedimiento administrativo y requisitos técnicos para el ingreso y revisión de proyectos desarrollados por particulares y organismos públicos externos a la Dirección de Obras Portuarias".

II.- OBJETIVO

Determinar las capacidades de amarre del sistema de boyas y sus complementos del Terminal Sica Sica, considerando los elementos de fondeo de las 3 boyas, mediante la aplicación de normas nacionales e internacionales y simulación dinámica de la nave amarrada, con el propósito de asegurar que el sistema de amarre soporta las solicitudes impuestas por la nave tipo, permitiendo un amarre seguro.

III.- ANTECEDENTES DEL PROYECTO Y NAVE DE DISEÑO

1.- Ubicación del Terminal Multiboyas.

Se ubica en la rada de Arica, y aproximadamente a cuatro cables al Norte de la bocana del puerto de Arica y las coordenadas geográficas son:

Lat.: 18°27'41,4" S. Long.: 070°19'22,8" W

Ref.: Carta SHOA 1111, edición 1998.

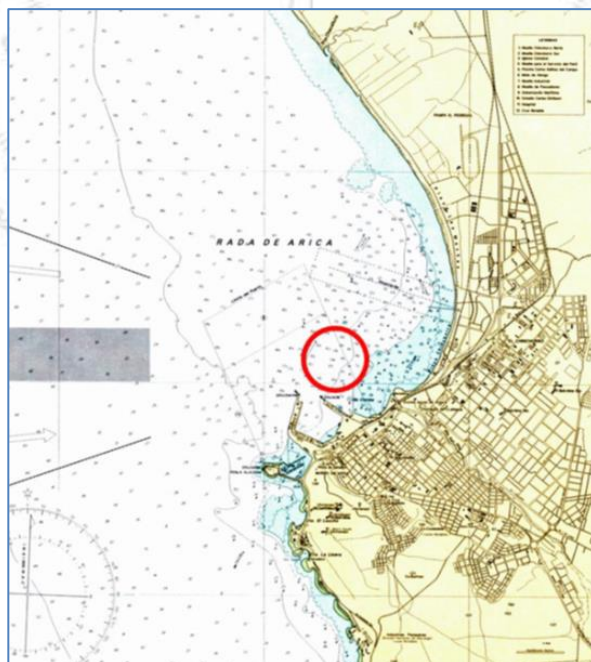


Figura N°1: Ubicación del terminal marítimo. Carta SHOA N°1111.



Figura N°2: Imagen de Google Earth de la Instalación Portuaria en la Rada de Arica.

1.1.- Terminal marítimo y elementos de amarre

Descripción general de la Instalación Portuaria.

La instalación portuaria es un terminal marítimo multiboyas, que consta de 3 boyas de amarre.

Se ejecutan faenas de descarga de diésel (DO), gasolina (GE) u otro hidrocarburo líquido desde buques tanques a los tanques de la Terminal Arica y carga de los mismos productos desde esa terminal de acopio.

Existe una línea submarina rígida de 16" de una longitud de aproximadamente 1500 m con salida para dos flexibles de 12". El flexible en operación consta de un tren de 9 mangueras de 12" de 10 metros cada una.

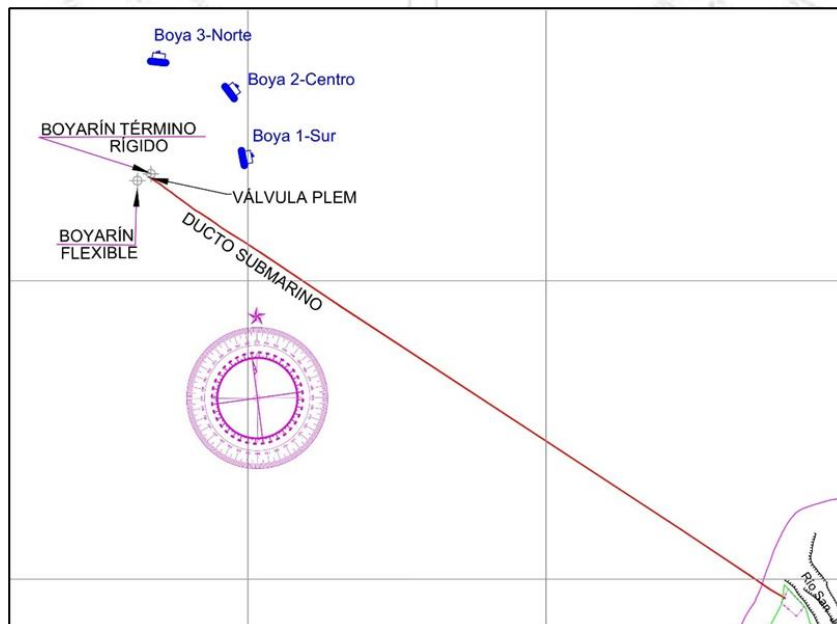


Figura N°3: Terminal SICA SICA y cañería submarina.

2.- Nave tipo o de diseño.

En el presente estudio se considera la nave máxima que operará en la Instalación Portuaria.

2.1.- Características generales de la Nave tipo

Tipo de Nave	OT 220
Nombre	Hafnia Pride
Número IMO	9737747
Desplazamiento	89195.00 [Ton]
Deadweight	74996.00 [Ton]
Eslora Total	220.00 [m]
Eslora LPP	211.49 [m]
Manga	38.40 [m]
Puntal	19.20 [m]
Calado Operacional	12.50 [m]
Calado en Liviano	7.05 [m]
Calado máximo	13.31 [m]
Franco Bordo Operacional	6.70 [m]
Franco Bordo Liviano	12.15 [m]
Potencia de máquina	9.660 Kw
Potencia de Bow y/o Stern Thrust	0
Área caserío Longitudinal (Lateral)	324.00 [m ²]
Área caserío Transversal (Frontal)	432.00 [m ²]
Área Longitudinal = Eslora * Franco Bordo + Caserío Área Transversal = Manga * Franco Bordo + Caserío Condiciones de viento	
Área obra muerta longitudinal (lateral) Cargado	1798.00 [m ²]
Área obra muerta longitudinal (lateral) en liviano	2997.00 [m ²]
Área obra muerta transversal (frontal) cargado	689.28 [m ²]
Área obra muerta transversal (frontal) en liviano	898.56 [m ²]
Área Longitudinal = Eslora EPP * Calado Área Transversal = Manga * Calado Condiciones de corriente	
Área obra viva longitudinal (lateral) cargado	2643.63 [m ²]
Área obra viva longitudinal (lateral) en liviano	1491.00 [m ²]
Área obra viva transversal (frontal) cargado	480.00 [m ²]
Área obra viva transversal (frontal) en liviano	270.72 [m ²]
Área Longitudinal = (Manga + 2 * Calado) * Eslora EPP Área Transversal = (Eslora EPP + 2 * Calado) * Manga	
Superficie mojada en la corriente long (lateral) Cargado	13408.47 [m ²]
Superficie mojada en la corriente trans (frontal) Cargado	9081.22 [m ²]
Superficie mojada en la corriente long (lateral) en liviano	11103.23 [m ²]
Superficie mojada en la corriente trans (frontal) en liviano	8662.66 [m ²]

2.2.- Plano de arreglo general de la nave tipo. OT 220 m.

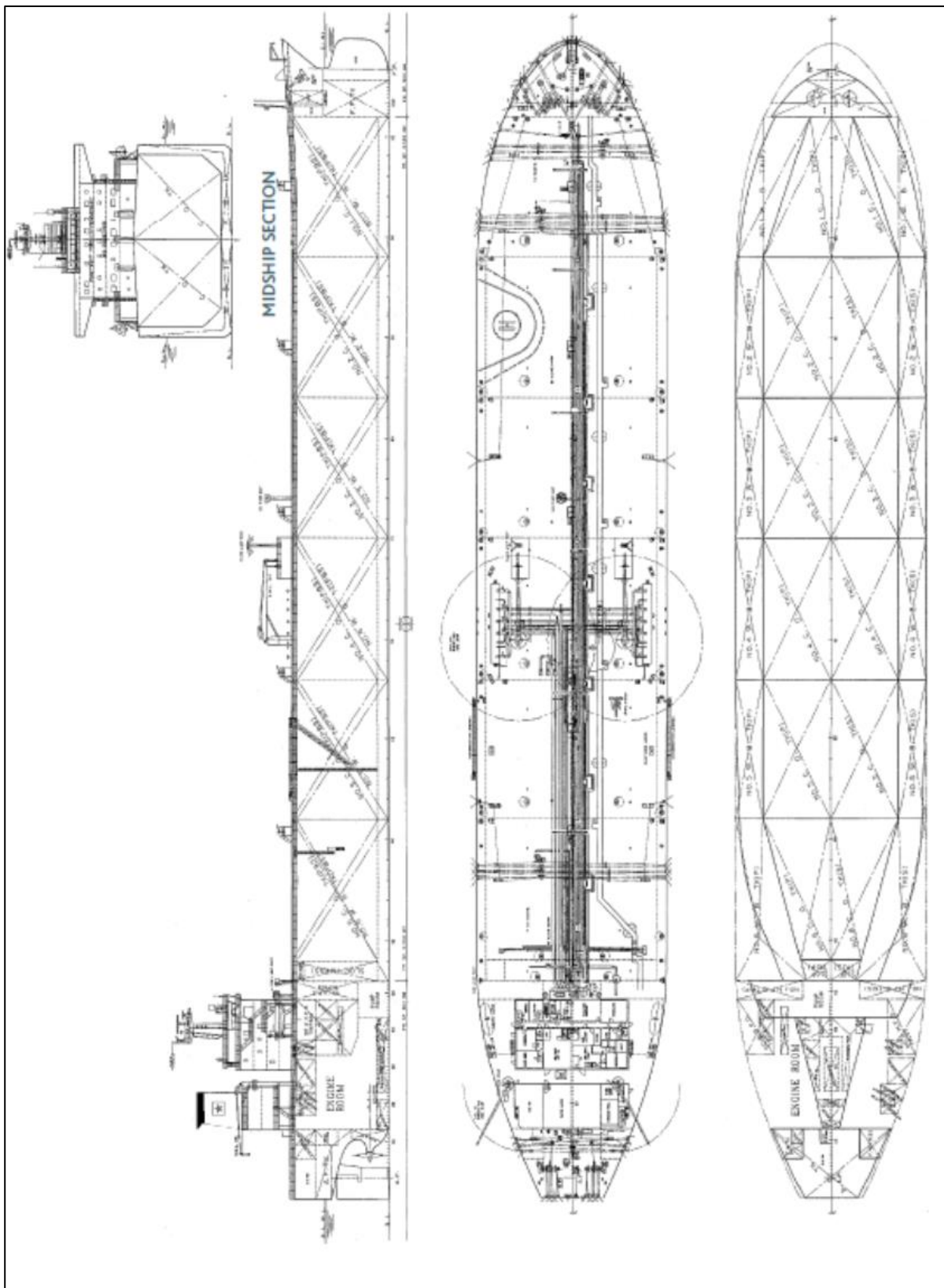


Figura N°4: Plano de arreglo general de nave OT de 220 metros de eslora.

IV.- DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL ÁREA.

Resumen de la información de vientos, olas y corrientes.

Las características meteorológicas y ambientales generales de la Instalación Portuaria, fueron extraídas de estudios desarrollados durante los años 2021 y 2022 de vientos, olas, corrientes, calidad del fondo, inspeccionados y aprobados por el SHOA con "Valor Oceanográfico" según Resoluciones que se indican y cuyas copias se adjuntan en el anexo A (archivo digital). La batimetría de precisión se realizó en el mes de enero de 2025.

Vientos: Resolución SHOA EXENTA N°13.270/24/1212/VRS del 30 ago. de 2022

Calidad del Fondo superficial:

Resolución SHOA EXENTA N°13.270/24/547/VRS del 19 abr. de 2022.

Corrientes: Resolución SHOA EXENTA N°13.270/24/365/VRS del 03 mar. de 2023

Oleaje: Resolución SHOA EXENTA N°13.270/24/564/VRS del 11 abr. de 2023

1.- Vientos.

Las mediciones se extendieron por un período de 31 días (entre el 22 de junio y el 23 de julio de 2021), con registros cada 10 minutos. La estación de vientos fue instalada en el faro extremo Molo de Abrigo y fue inspeccionada por el SHOA.

Del estudio efectuado se concluye que la intensidad promedio durante el período en estudio alcanza los 2.20 m/s, (4.27 nudos) y con mayores intensidades en los meses de primavera y desde el punto de vista direccional muestra que el sector de estudio no muestra obstaculización a ningún arco direccional en particular. Del análisis de largo plazo, se desprende que los arcos direccionales SSW (25.96%) y SW (22.66%) son los de mayor frecuencia y presentan una uniformidad año tras año tal como lo entregan los resultados del ciclo promedio de intensidad y dirección, en particular las intensidades tienden a ser mayores entre las 14 a 23 horas UTC.

Tabla N°1: Tabla de frecuencia con intensidad y dirección.

Rango vel. m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WS	W	WN	NW	NN	Tota
0,00 - 1,00	0,11	1,03	1,12	0,82	0,83	1,49	1,47	0,15	3,95	2,60	0,26	0,96	1,51	1,40	1,39	0,75	19,84
1,00 - 2,00	0,90	1,20	2,13	3,23	2,37	0,88	1,78	2,01	4,43	5,25	3,14	1,24	0,59	0,47	1,66	1,39	32,66
2,00 - 3,00	0,85	0,20	1,01	1,05	0,61	0,00	0,33	1,70	0,91	6,27	3,47	0,81	0,05	0,02	0,17	0,24	17,71
3,00 - 4,00	0,37	0,01	0,04	0,10	0,04	0,00	0,04	0,64	0,17	7,74	4,20	0,25	0,00	0,00	0,00	0,04	13,66
4,00 - 5,00	0,14	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	3,66	5,33	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	9,36
5,00 - 5,50	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	4,73	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	5,22
6,00 - 6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38
7,00 - 8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
8,00 - 9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Totales:	2.41	2.45	4.30	5.21	3.87	2.37	3.63	4.60	9.47	25.9	22.6	3.39	2.16	1.89	3.22	2.42	100
Máximos m/s	6.63	6.17	3.72	5.55	4.57	2.54	4.92	7.66	4.32	9.88	10.5	7.50	4.17	2.63	4.91	3.76	
Promedio m/s	2.14	1.26	1.47	1.58	1.39	0.91	1.44	1.97	1.17	2.87	3.85	1.74	0.96	0.83	1.05	1.19	

De la tabla anterior se muestra que el 83,87 % del tiempo, las intensidades son entre calmas y 7,8 nudos, (0,0 a 4,0 m/s)

2.- Corrientes.

El registro de olas se efectuó con un correntómetro ADCP modelo AWAC AST 1 MHz, marca Nortek, instalado en el terminal en posición L: 18°27' 36.6030" S y G: 70°19'19.9774" W (verano) y L: 18°27' 36.1942" S y G: 70°19'19.7366" W (invierno), aledaño a una de las boyas de amarre, a una profundidad aproximada de 15 metros.

Las mediciones se extendieron por un período de 43 días para la campaña de verano (entre el 10 de febrero al 24 de marzo de 2021) y de 30 días para la campaña de invierno (entre 23 de junio al 23 de julio de 2021) con registro cada 10 minutos.

Tabla N°2: Corrientes de verano e invierno.

Campaña:	Verano																
Profundidad capa	6,5 m																
Frecuencia de incidencia de corriente (%) Promedio horario																	
Rango vel. m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total %
0,00 - 0,10	3,49	6,07	7,86	7,37	5,67	4,87	4,97	5,17	8,16	12,14	13,54	7,76	3,09	1,99	1,89	2,59	96.62
0,10 - 0,20	0.00	0.50	0.70	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	0.20	1.00	0.50	0.10	0.00	0.00	0.00	3.40
0,20 - 0,30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,30 - 0,40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,40 - 0,50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,50 - 0,60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,60 - 0,70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales:	3.48	6.57	8.56	7.47	5.67	4.87	4.97	5.27	8.36	12.34	14.54	8.26	3.19	1.99	1.89	2.59	100.00
Máximos m/s	0.08	0.12	0.13	0.12	0.09	0.10	0.09	0.12	0.11	0.13	0.13	0.12	0.12	0.07	0.07	0.06	
Promedios m/s	0.03	0.05	0.06	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	

Campaña:		Invierno															
Profundidad capa		6,5 m															
Frecuencia de incidencia de corriente (%) Promedio horario																	
Rango vel. m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total %
0,00 - 0,10	4,55	4,6	5,34	5,54	4,55	5,05	4,21	4,33	5,95	6,72	8,62	8,57	6,77	5,2	3,56	3,37	86,93
0,10 - 0,20	0,23	0,62	0,81	0,78	0,23	0,34	0,2	0,28	0,76	1,63	2,81	2,76	0,9	0,48	0,17	0,08	13,07
0,20 - 0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,30 - 0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40 - 0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50 - 0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60 - 0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totales:	4,78	5,22	6,15	6,32	4,78	5,39	4,41	4,61	6,71	8,35	11,43	11,33	7,67	5,68	3,73	3,45	100,00
Máximos m/s	0,08	0,12	0,11	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07	0,09	0,14	0,13	0,18	0,10	0,06	0,07	0,05	
Promedios m/s	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	

3.- Olas.

El registro de olas se efectuó con un correntómetro ADCP modelo AWAC AST 1 MHz, marca Nortek, instalado en posición L: 18°27' 36.6030" S y G: 70°19'19.9774" W (verano) y L: 18°27' 36.1942" S y G: 70°19'19.7366" W (invierno), aledaño a unos 30 metros al norte de la boya de amarre N°3, a una profundidad aproximada de 15 metros.

Las mediciones se extendieron por un período de 43 días para la campaña de verano (entre el 10 de febrero al 24 de marzo de 2021) y de 30 días para la campaña de invierno (entre 23 de junio al 23 de julio de 2021).

Del estudio efectuado se indica que las condiciones promedio a lo largo del hindcasting espectral alcanza un valor de 1.16 [m] para la altura, 13.81 [s] para el período y en el caso de la dirección promedio y peak se encuentra centrada en torno a los 240°. La altura significativa espectral máxima es de 3.38 [m] y un período peak espectral 23.92 [s].

4.- Calidad del fondo.

Los resultados del estudio señalan que las muestras indican sedimentos de relativa similitud y procedencia dentro de la zona de estudio debido al contenido común encontrado tendiente hacia los sedimentos muy finos y fangosos (limo + arcilla).

5.- Mareas.

El régimen de mareas es mixto semidiurno, que significa que existen dos pleamares y dos bajas en 24 horas.

Rango de la marea: 1,70 m.

Nivel medio del Mar = + 0,80 m referido al NRS

6.- Batimetría.

La batimetría de precisión realizada en enero de 2025, muestra que el sector del proyecto presenta profundidades más o menos homogéneas aumentando en la orientación NW-W y sin accidentes hidrográficos.

Las profundidades donde se fondearán las anclas de las boyas varía entre 13,4 m y 15,1 m de acuerdo al Plano de la Batimetría Multihaz adjunto en Anexo "G".

V.- ESTUDIO DE MANIOBRABILIDAD.

El Terminal Sica Sica cuenta con un Estudio de Maniobrabilidad, N°001-11 023-MN/SICA SICA-01 Rev. 05, abril 2025. Además, se ha confeccionado un adendum al mencionado estudio, que contempla el sistema de amarre considerado en el presente informe de dimensionamiento.

El Adendum señalado, se adjunta en anexo "B" (archivo digital) y a continuación, se presenta un extracto de él.

VI.- EXTRACTO DEL ADENDUM AL ESTUDIO DE MANIOBRABILIDAD.

1.- Descripción general de las instalaciones

El terminal es multiboyas y los buques se amarran a tres boyas para fijar la popa y emplean el fondeo de sus dos anclas de proa.

Existe una línea submarina, para la recepción y carga de productos derivados de los hidrocarburos.

Las maniobras consideradas son diurnas las de aproximación, fondeo y amarre y diurnas y nocturnas, las de desamarre y zarpe.

1.1.- Condiciones operacionales para las maniobras.

Las condiciones operacionales definidas se muestran en la siguiente tabla:

Maniobra	Viento		Altura de la Ola (m) / período	Corriente	Visibilidad
	Dirección	Veloc. (m/seg)	Dirección SW	Dirección SW a NE	
Atrake	SSW (214°)	14 n (7,2)	1,5 / 14 seg.	0,5 nds. (25,72 cm/s)	2,0 NM
Desamarre	SSW (214°)	(4) 20 n (10,28)			1,0 NM
Faena de carguío	SSW (214°)	(2) 18 n (9,24)	(3) 1,8 / 14 seg.	Sin restric.	Sin restric.
Permanencia	SSW (214°)	(1) 24 n (12,34)	(3) 2,0 / 14 seg.	Sin restric.	Sin restric.

2.- Descripción de las maniobras.

2.1.- Preparación de la maniobra de amarre al terminal.

La nave deberá tener preparadas las dos anclas para fondear, con sus correspondientes elementos como winches y cabrestantes operativos para maniobrar las cadenas, que deben tener como mínimo 11 paños utilizables (12 paños en total).

Para la maniobra de amarre, la nave deberá tener preparadas 7 espías de 220 metros de longitud para ser pasadas por las gateras de popa, aleta de estribor y aleta de babor, considerando pasar dos espías por la gatera de popa a la boya del centro, dos espías por la gatera de estribor a la boya norte y tres espías por la gatera de babor a la boya sur. Para la ejecución de esta maniobra los winches de popa deberán estar operativos y en perfecto estado de funcionamiento.

2.2.- Aproximación al Terminal.

El acceso marítimo hacia el Puerto de Arica, no reviste ninguna dificultad ya que es profundo y libre de escollos o bajos fondos, siempre que la nave se mantenga a una distancia superior a las dos millas náuticas de costa.

Se gobernará respetando el dispositivo de separación de tráfico indicado en la carta N°1111 y cumpliendo con el procedimiento VTS (Publicación SHOA N°3008).

Se emplearán como referencia el faro extremo molo de abrigo (G-1986) y el faro muelle norte (G-1985), como referencia para aproximar y posicionar la nave en la enfilación de aproximación. (Ver publicación SHOA N°3007).

El embarco del Práctico se efectuará por la banda que éste indique y dependerá de las condiciones de viento y oleaje al momento del arribo de la nave al punto de espera de práctico, lo que será notificado al buque por VHF oportunamente.

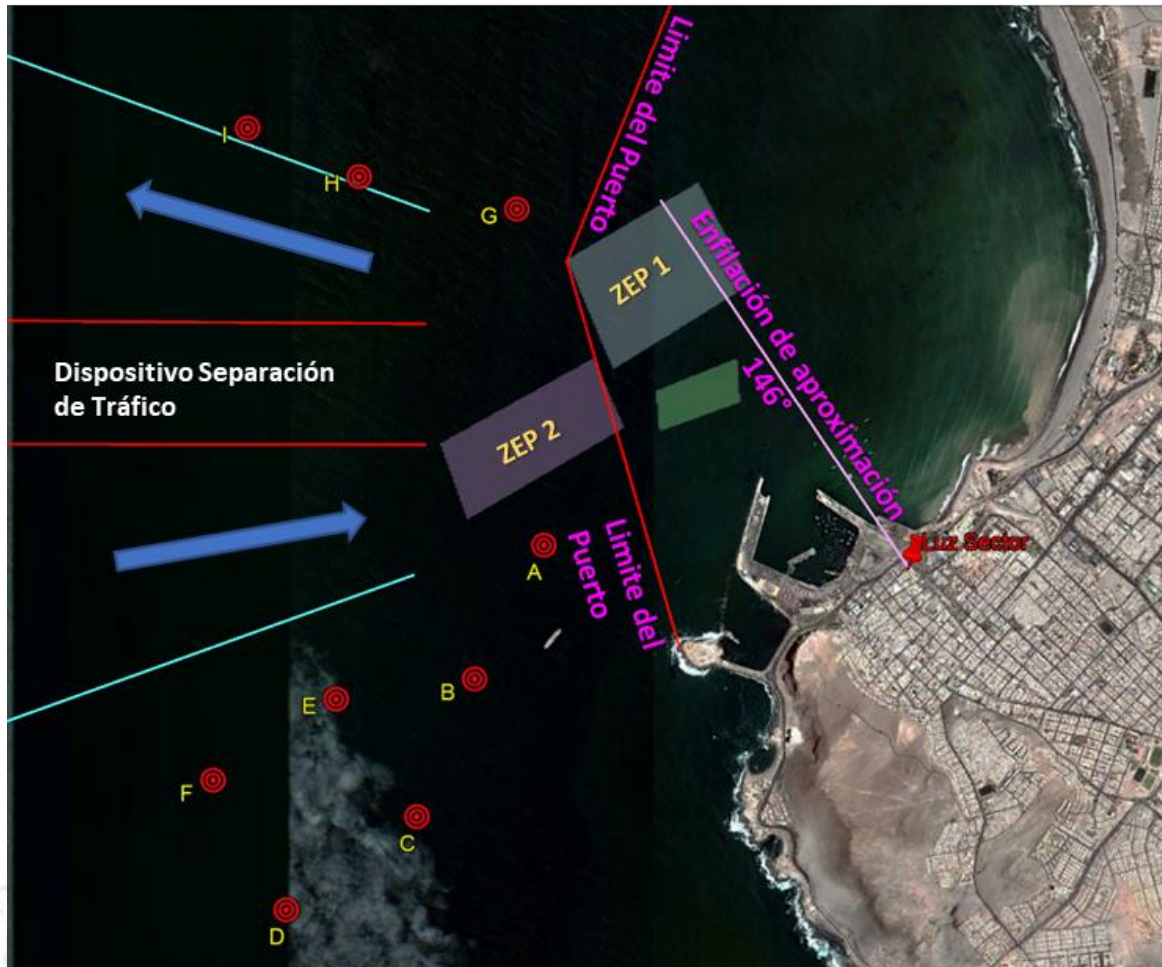


Figura N°5: ZEP, separación de tráfico y enfilación de aproximación.

2.3.- Naves OT de esloras superiores a 160 metros

Una vez que el práctico se encuentre a bordo se gobernará convenientemente para interceptar la enfilación de aproximación al 146°.

De acuerdo a las condiciones ambientales, características de la nave y el criterio y experiencia del práctico, este podrá emplear los remolcadores tomándolos en posición N°2 y N°3 por estribor o bien sin tomarlos, o bien disponiendo el de proa por babor, pero teniendo presente las limitaciones que impone la boya y boyarines que señalan la posición del flexible de petróleo y término del rígido.

Con la nave en la enfilación de aproximación al 146° (luz de sector-sector luz blanca), se gobernará y se empleará la máquina adecuadamente para mantenerse en ella a una velocidad no superior a dos nudos, efectuándose las correcciones necesarias para contrarrestar los efectos del viento o la corriente y se dejarán las dos anclas a la pendura listas a fondear.

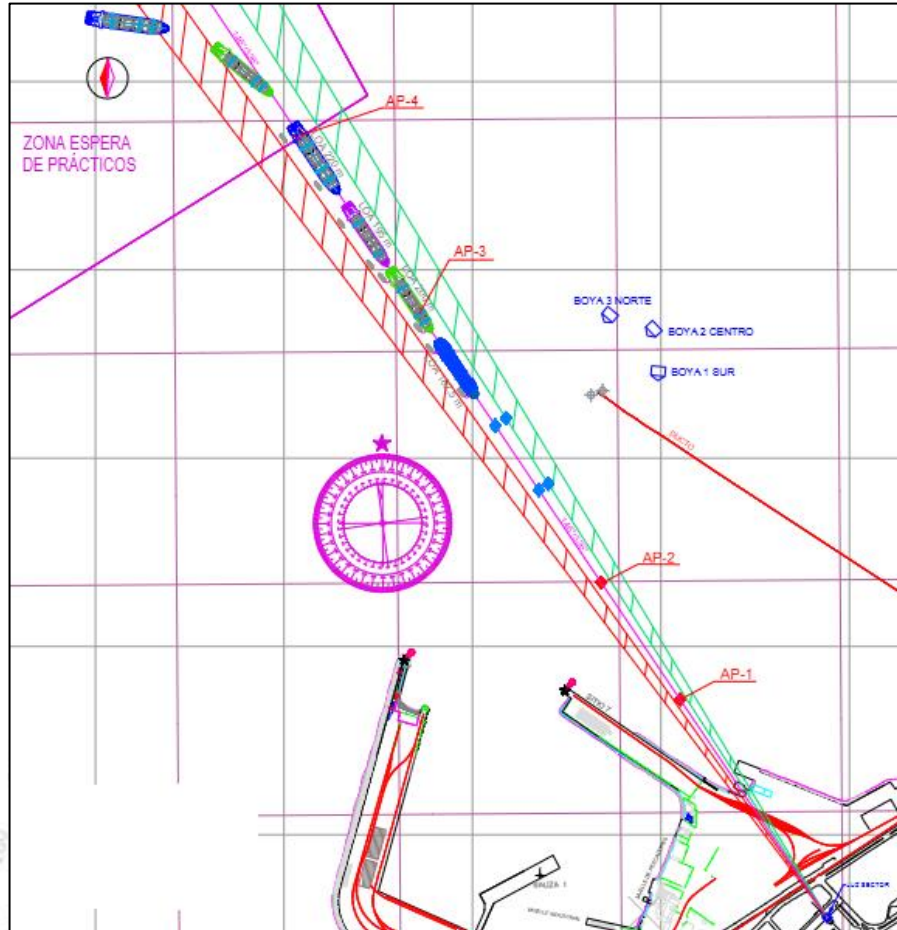


Figura N°6: Extracto plano Maniobra de Aproximación naves tipo de eslora superiores a 160 metros.

Se debe considerar que durante la aproximación es necesario mantener una especial atención de la deriva por efectos de las condiciones ambientales de corrientes y oleaje, en particular la que afecta a la nave por su banda de estribor. Para contrarrestar esta deriva y conforme se estime, se emplearán el o los remolcadores.



Figura N°7: Vista desde el mar de la Señal de la enfilación de aproximación. Luz de sector.

2.4.- Nave OT de 144 metros de eslora hasta 160 metros.

La operación de naves de eslora de 144 a 160 metros, es de baja ocurrencia. Este menor tamaño, implica en definitiva mayores largos de cadena a filar para alcanzar y mantener la posición final deseada en el terminal. Para evitar esta situación, estas naves aproximarán a los puntos de fondeo de sus anclas manteniendo la enfilación de la luz de sector, PEL, en el sector blanco tangenteando el sector verde.

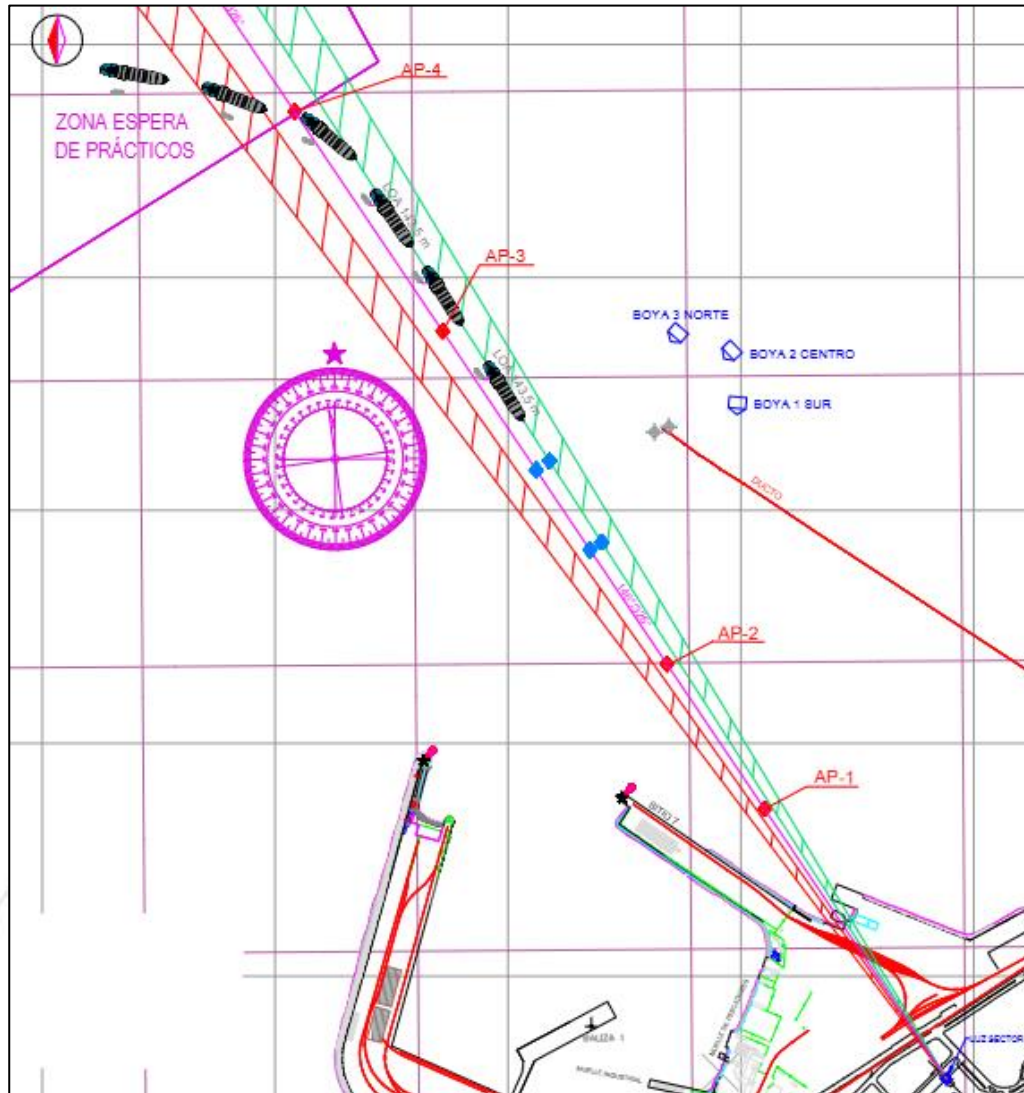


Figura N°8: Extracto plano Maniobra de Aproximación naves tipo de esloras inferiores a 160 metros.

2.4.- Maniobra de fondeo de las anclas

Continuando la aproximación hacia el terminal manteniendo la enfilación de aproximación al 146°, se reducirá la velocidad a un nudo para fondear el ancla de estribor con una velocidad no mayor a 1 nudo.

Se fondeará el ancla de Estribor cuando la proa se encuentre sobre el punto de fondeo (PFE mayor o menor) generado por el AIS Aton en el ECDIS de la nave y en la PPU del práctico. Se filará cadena hasta dejar el paño N°6 en el agua.

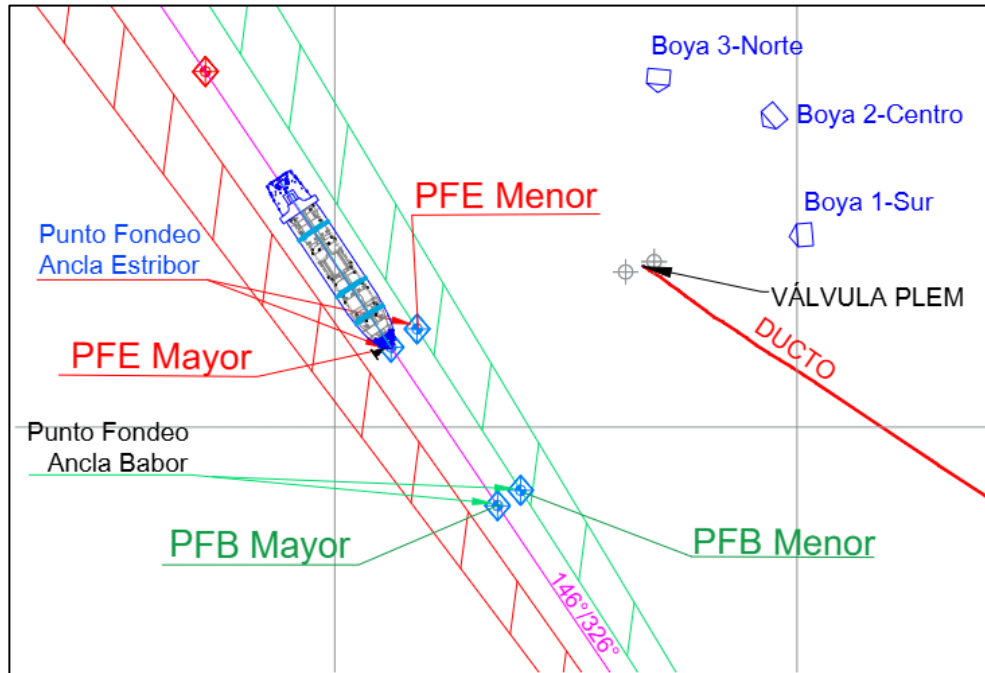


Figura N°9: Posición de fondeo ancla de Estribor buque de eslora mayor a 160 metros.

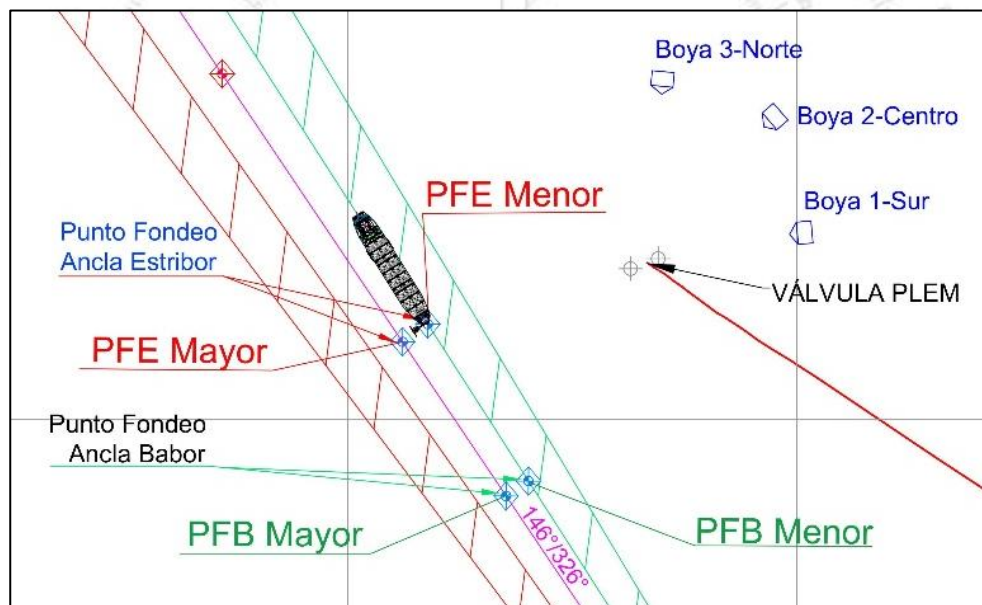


Figura N°10: Posición de fondeo ancla de Estribor buque de eslora menor a 160 metros.

Inmediatamente después de fondear el ancla de Estribor, el buque continuará el desplazamiento con su viada filando y estirando la cadena hasta alcanzar el punto de fondeo del ancla de babor (PFB mayor o menor), pudiendo ser necesario emplear la máquina para mantener su aproximación al punto de fondeo del ancla de babor.

Se fondeará esta ancla, cuando la proa alcance el punto de fondeo generado por el AIS Aton en el ECDIS de la nave y en la PPU del práctico. Una vez fondeada el ancla de babor, se procederá a dar atrás con la máquina de manera de detener la viada del buque y se conectará el cabestrante para virar el ancla de estribor, hasta alcanzar la posición final.

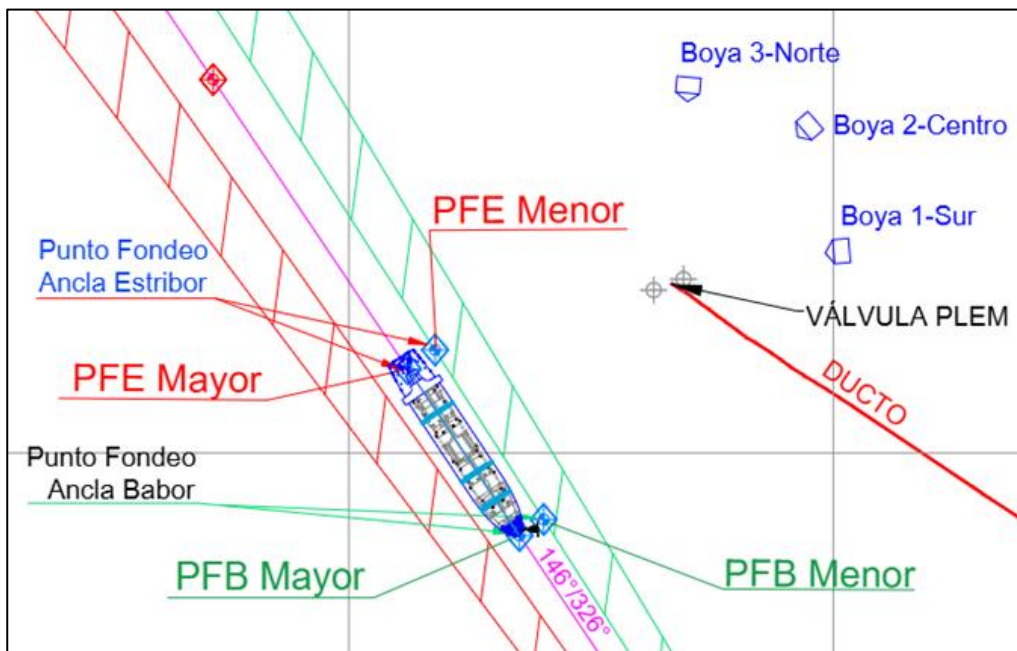


Figura N°11: Posición de fondeo ancla de Babor, buque de eslora mayor de 160 metros.

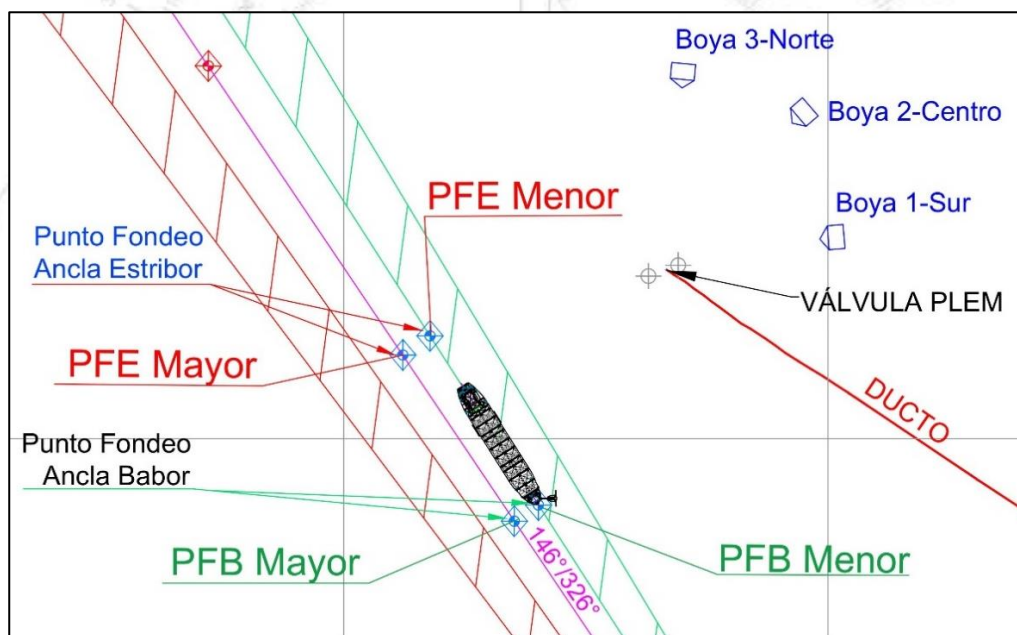


Figura N°12: Posición de fondeo ancla de Babor buque de eslora menor de 160 metros.

Puntos de Fondeo

Tabla N°16 (Extracto)

Nave	Ancla	COORDENADAS			
		Geográficas		UTM	
> de 160 m	Estribor	18°27' 46,46" S	70°19' 31,08" W	360060,9371 N	7958086,4104 E
> de 160 m	Babor	18°27' 52,07" S	70°19' 27,19" W	360176,1298 N	7957915,0232 E
< de 160 m	Estribor	18°27' 45,83" S	70°19' 30,11" W	360089,0326 N	7958106,1376 E
< de 160 m	Babor	18°27' 51,53" S	70°19' 26,34" W	360201,0326 N	7957931,6782 E

2.5.- Maniobra de amarre al terminal

Una vez fondeadas ambas anclas se iniciará la aproximación a las boyas de amarre empleando la máquina dando atrás y la asistencia de ambos remolcadores tanto carnereando como tirando de acuerdo a las necesidades, ubicados en las posiciones mencionadas anteriormente; como asimismo, filando cadena en la maniobra de babor y virando en la maniobra de estribor, para desplazar la nave hacia el Terminal, llevando su popa en dirección de las boyas de amarre, teniendo precaución de mantenerse claro de los boyarines que señalan la posición de las cañerías del terminal. (Flexible y término del rígido).



Figura N°13: Vista de boyarines y mástil del ducto submarino.



Figura N°14: Imagen de los boyarines de término del rígido y del flexible respectivamente.

Durante esta maniobra se estirarán las cadenas sin que ello constituya una limitación para alcanzar la posición final de la nave, para que cuando esta se alcance en el terminal, las cadenas trabajen en forma pareja, con los largos ya señalados.

Nota:

Se debe considerar que las boyas de amarre serán reubicadas de manera de la nave una vez quede amarrada simétricamente en el terminal con proa 230° y además de ello, sus maniobras de fondeo fueron reforzadas con nuevas cadenas de mayor mena y con nuevas anclas de mayor peso.

Una vez que la nave se encuentre en una posición segura y con proa al **230°** y a una distancia aproximadamente de unos 100 a 130 metros de la boya Centro (N°2), se pasarán por medio de la lancha de apoyo, dos espías simultáneamente a esta boya las cuales se virarán y se regulará las tensiones de las cadenas de manera que el buque quede orientado en el eje de amarre del Terminal al **230°- 050°**.



Figura N°15: Maniobra de amarre, pasada de amarras a boyas.

Luego se pasarán dos espías por popa estribor a la boya Norte (N°3), las que se virarán dándole la tensión necesaria para que la nave mantenga su posición centrada en el terminal.

A continuación, se pasarán dos espías a la boya Sur (N°1), las que se virarán hasta alcanzar la posición para la toma del flexible de acuerdo a instrucciones del personal del terminal, quedando aproximadamente el boyarín de término del rígido ubicado entre la cuadra y la aleta de babor de la nave, con una separación lateral de aproximadamente 5 metros de este. No obstante lo anterior, el Práctico, conforme a las condiciones del escenario, condiciones ambientales y su experiencia, podrá amarrar la nave considerando otra secuencia de pasada de espías a las boyas.

Antes de finalizar la maniobra de amarre, se ajustarán tanto las cadenas y espías de amarre para verificar la mantención de la posición final de la nave en el terminal tanto en distancia a los boyarines por babor, como en su orientación longitudinal al 230°, dejando todos los medios de amarre trabajando en forma pareja. En caso que sea necesario para mantener y asegurar la posición de la nave en el terminal, se pasará una tercera espía desde el winche ubicado en la cubierta principal popa inmediatamente a proa del caserío a la boya N°1-Sur.

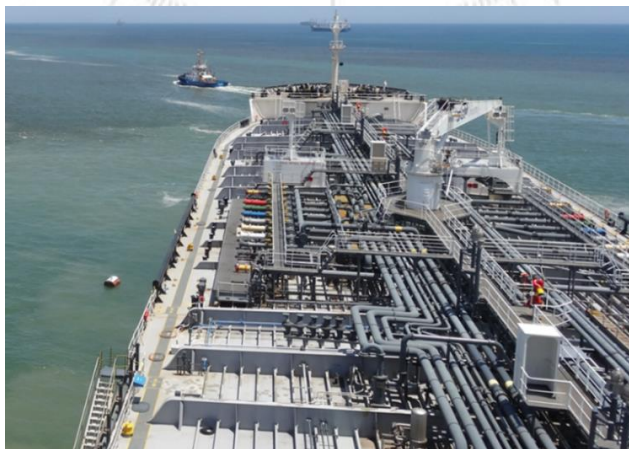


Figura N°16: Nave en posición final amarrada al Terminal.



Figura N°17: Imagen de amarras desde el buque a las boyas.



Figura N°18: Imagen de amarras a boya N°1-Sur.

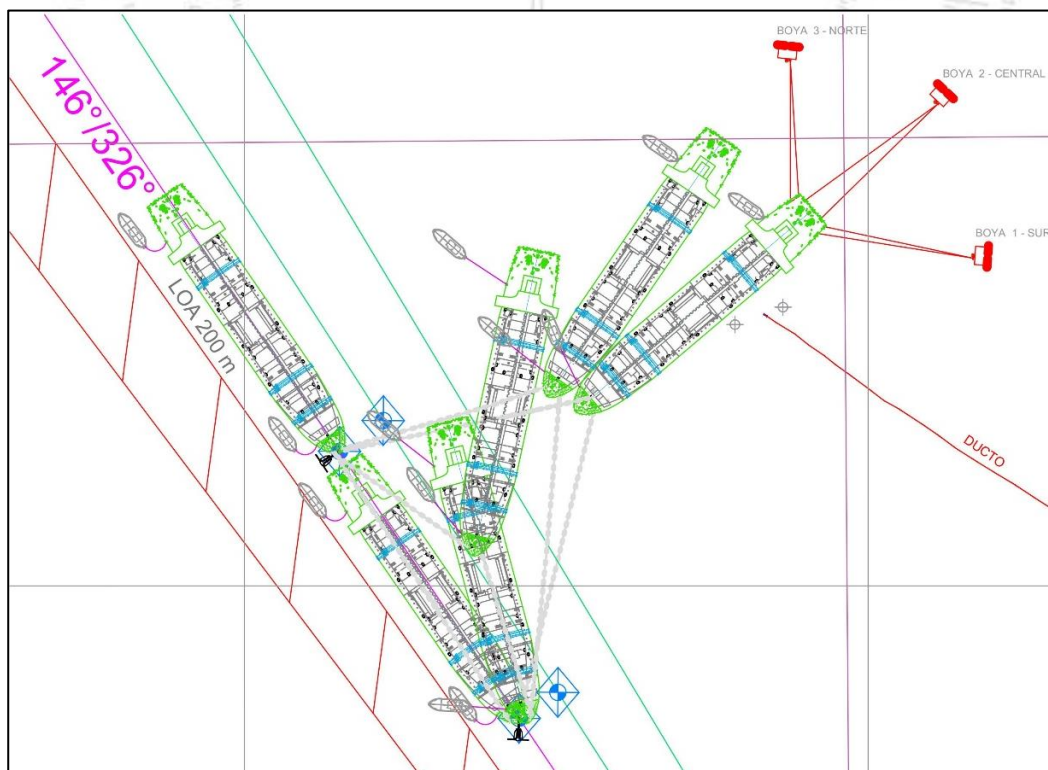


Figura N°19: Esquema maniobra de fondeo y amarre al Terminal buques de esloras superiores a 160 metros.

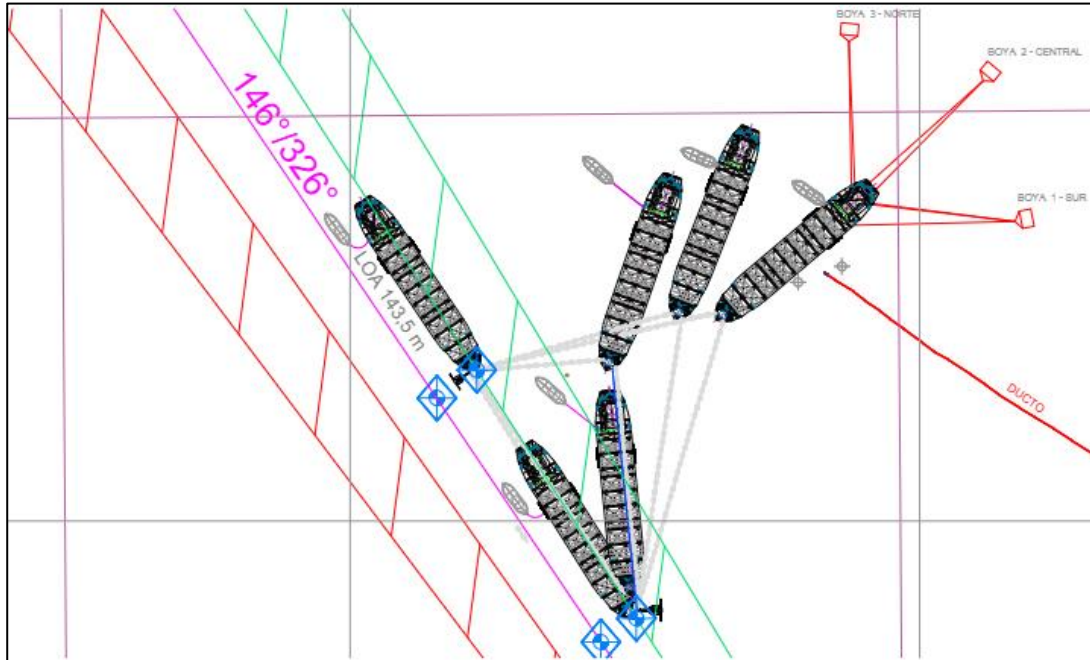


Figura N°20: Esquema maniobra de fondeo y amarre al Terminal buques de esloras de hasta 160 metros.

Nota: En los gráficos, las naves se encuentran amarradas a las boyas que permite una amarra simétrica con proa al 230°.

Maniobra de fondeo Estribor

Tabla N°17 (Extracto)

Eslora Nave	Long. horizontal de cadena en el plano	Longitud de cadena en el agua	Total cadena en el agua. Paños
220 m	137,0 m	164,0 m	5,96
195,09m	159,0 m	186,0 m	6,76
182,5m	171,0 m	198,0 m	7,20
143,5 m	171,0 m	198,0 m	7,20

Maniobra de fondeo Babor

Tabla N°18 (Extracto)

Eslora Nave	Long. horizontal de cadena en el plano	Longitud de cadena en el agua	Total cadena en el agua. Paños
220 m	178,0 m	205,0 m	7,45
195,09 m	198,0 m	225,0 m	8,18
182,5 m	209,0 m	236,0 m	8,58
144,03 m	214,0 m	241,0 m	8,76

2.6.- Maniobra de desamarre y salida del terminal

Para la maniobra de desamarre y salida del terminal, se requiere el apoyo de un remolcador y de la lancha para largar las espías de las boyas. En caso de que las condiciones meteorológicas lo requieran se maniobrará con dos remolcadores con naves de cualquier eslora. Se debe considerar que la nave también puede tener tendencia a abatir sobre el terminal en cuyo caso el o los remolcadores, tirando, la mantendrán clara de los obstáculos constituidos por los boyarines del flexible de petróleo.

Con todo, de acuerdo a las condiciones ambientales y el criterio y experiencia del práctico, este podrá emplear el o los remolcadores por babor, teniendo cuidado de mantenerlos claros de la boya y boyarines que señalan la posición del flexible de petróleo.

Con el práctico a bordo, los apoyos a la maniobra presentes y la nave lista para zarpar, se hará firme el remolcador por popa estribor (posición 3) y la lancha de apoyo, se mantendrá en las cercanías de la boya Sur (N°1). Se alivianarán las espías a esta boya y posteriormente se largarán virándolas hasta dejarlas en cubierta. Luego se procederá de la misma manera con la boya central y luego con la boya Norte.

Durante el largado de las espías de popa, se corregirá cualquier tendencia de acercamiento de la popa a los boyarines del terminal empleando el remolcador en tiro y si es necesario virando la cadena de estribor.

Una vez que las espías de popa se encuentren en cubierta, se virará la cadena de babor, manteniendo la popa clara del terminal con el remolcador. Si es necesario, se lascará la cadena de estribor para permitir el levar el ancla de babor con seguridad hasta que esta se encuentre arriba clara, con la precaución de mantener la nave libre de los boyarines del terminal. Dependiendo de las condiciones de viento y mar, el remolcador se puede largar y reubicarse oportunamente para mantener la nave segura en su maniobra.

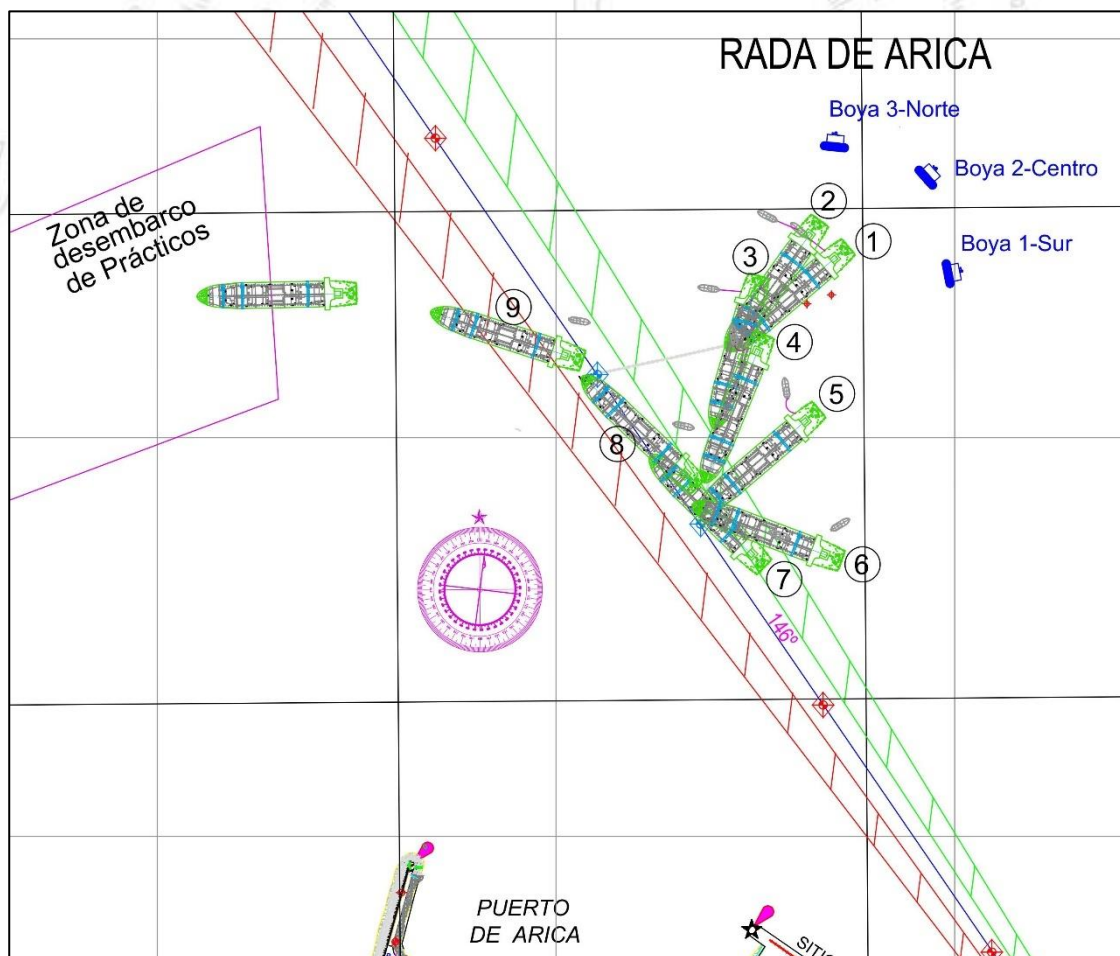


Figura N°21: Gráfico de la maniobra de desamarre y zarpe.

Una vez que el ancla de babor se encuentre arriba clara, se virará la cadena de estribor, manteniendo la nave libre de las boyas y boyarines del terminal con el empleo de la máquina y el remolcador, considerando que la proa caerá a estribor en dirección norte y la popa se moverá hacia el terminal (boyarines).

Cuando el ancla de estribor se encuentre arriba clara, se dará avance con la máquina y con una derrota inicial de 315°verdadero se procede a abandonar el Terminal Marítimo. Se largará el remolcador y el práctico, se desembarcará en el área de estación de Práctico o donde éste lo estime prudente para la seguridad de la nave.

VII.- DISPOSICIÓN Y COMPOSICIÓN DEL SISTEMA DE BOYAS.

1.- Diagrama disposición de boyas de amarre.

La nave se amarra a tres boyas por la popa objeto fijar la popa para la faena de carga y descarga. La disposición de los elementos del sistema de fondeo y el posicionamiento de las boyas cumple con las normas nacionales e internacionales, teniendo como referencia la figura N°8.43 del apartado 8, numeral 8.8.5 de la ROM 3.1-99, lo que permite un amarre simétrico.

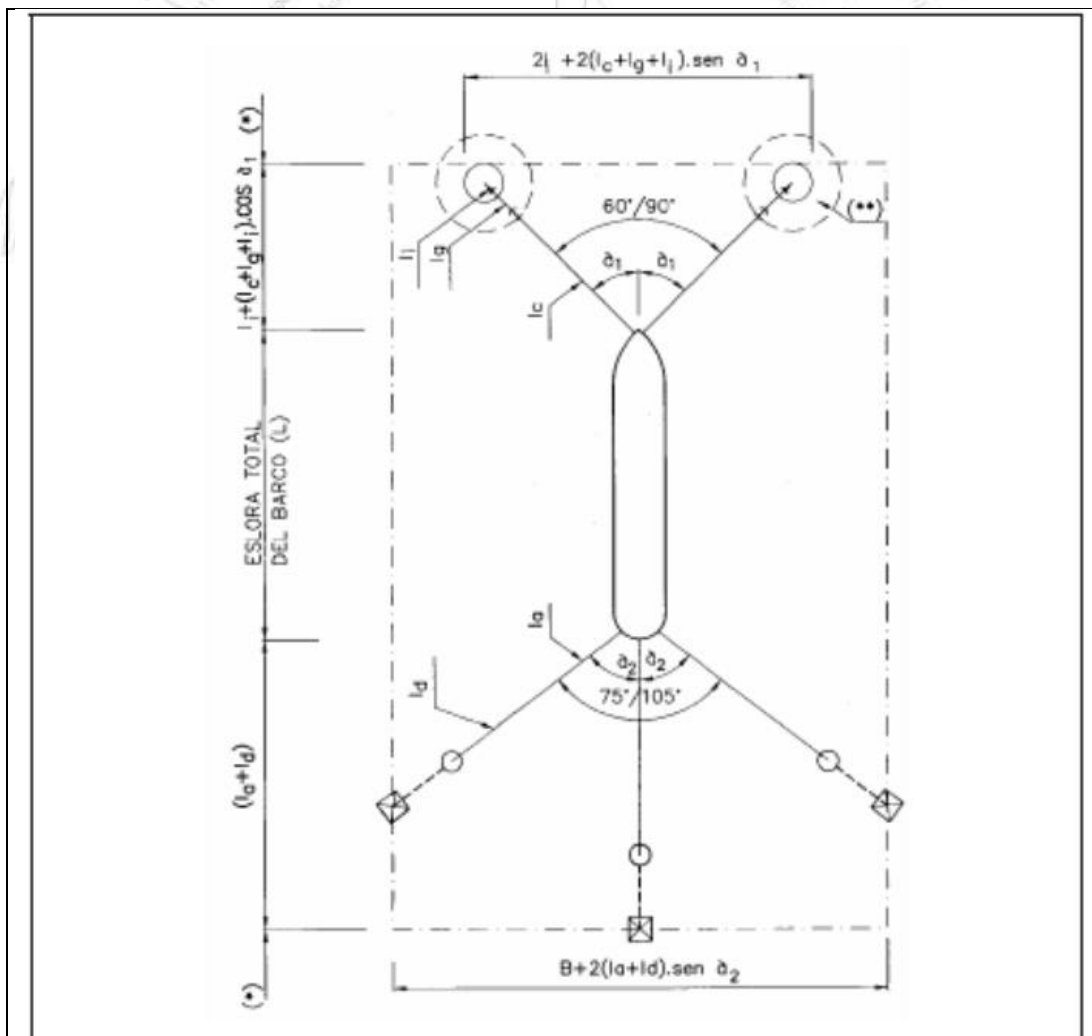


Figura N°22: Diagrama ROM 3.1-99, Parte 8, punto 8.8.5

Conforme a las normas internacionales las boyas cuentan con dos patas de fuerza y una retenida.

El sistema establecido se muestra en la figura siguiente:

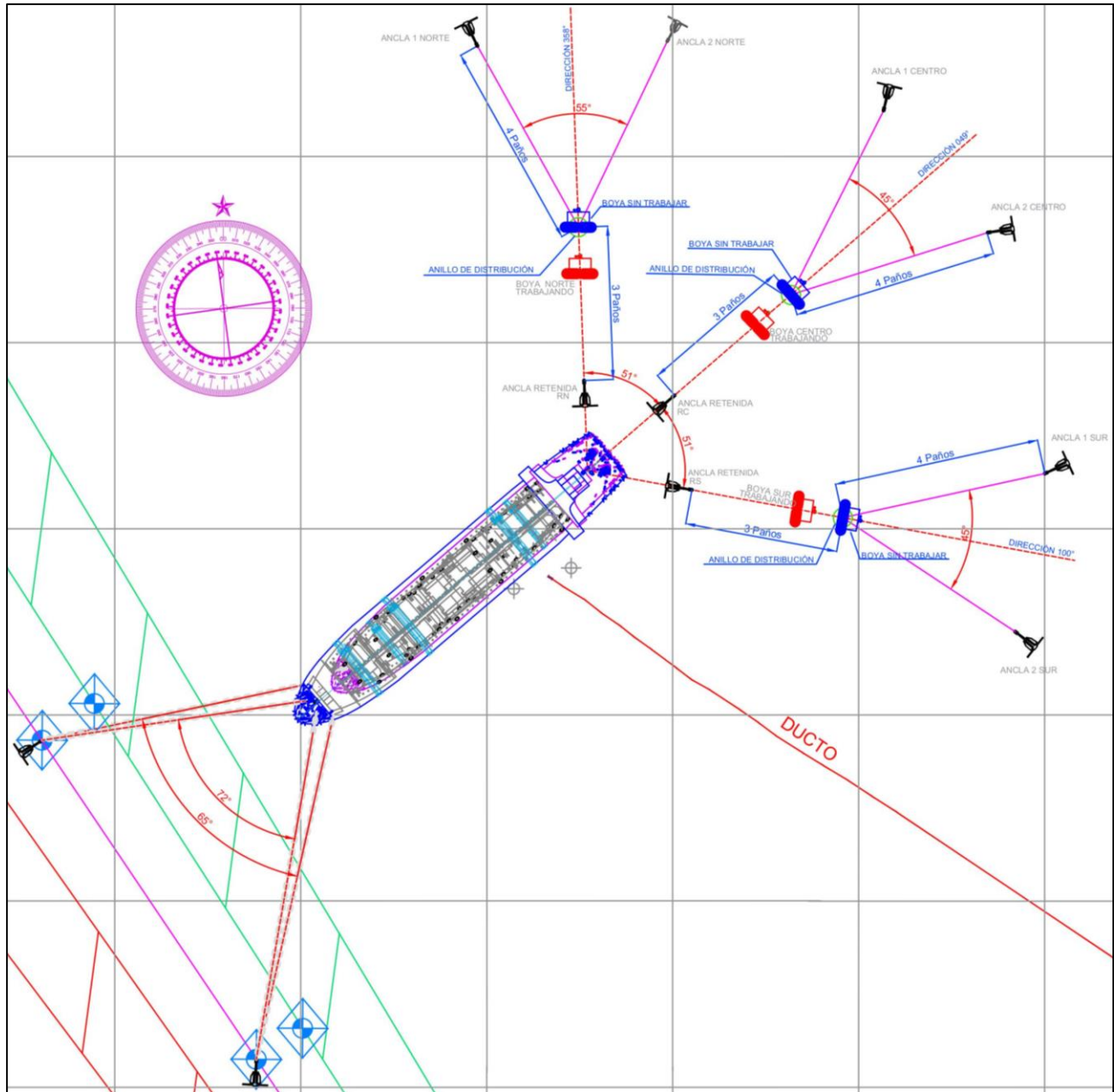


Figura N°23: Diagrama de disposición de las Boyas y sus elementos de fondeo

La ubicación de las boyas y sus complementos, permiten que la amarra de la nave en su posición final sea simétrica.

2.- Composición de las boyas de amarre.

Para cada boya se definió su orinque, retenida, patas de fuerza y las anclas y cadenas respectivas, como se muestra en la figura siguiente:

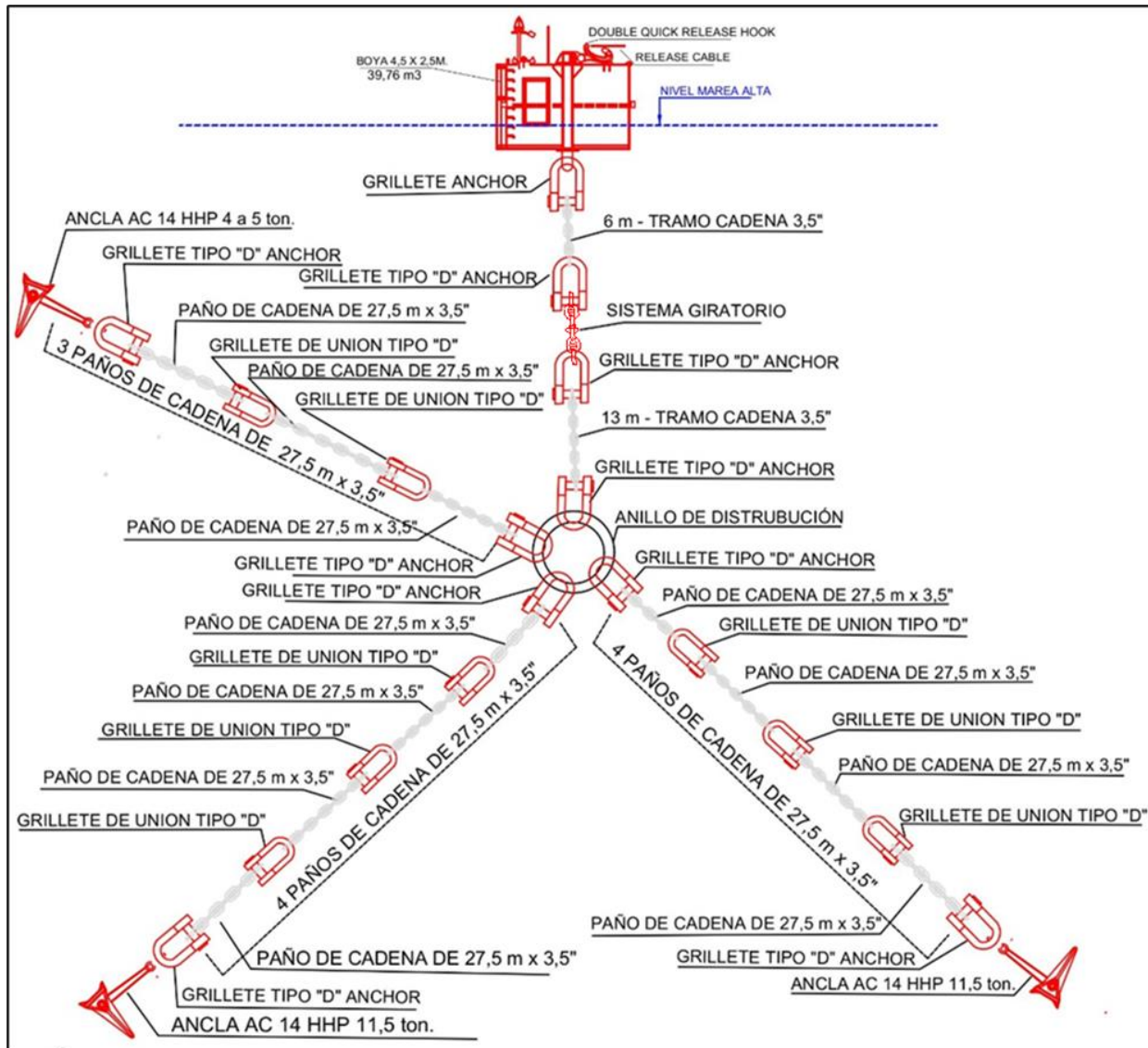


Figura N°24: Imagen disposición elementos de fondeo de cada boya a instalar.

VIII.- METODOLOGÍA.

La disposición de las boyas y sus elementos se realizó conforme a la siguiente metodología.

1.- Normas técnicas, recomendaciones, circulares y software.

Se aplican los antecedentes definidos en las siguientes normas técnicas y software:

- Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias, Recomendaciones para Obras Marítimas, ROM 0.2-90.
- Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de flotación, ROM 3.1-99.
- Ports and Harbours Research Institute – Japan.

- Software OPTIMOOR Version 6.8.4 Tension Technology International © 1 Marzo 2024 Módulo Estático (iteración punto de equilibrio) y Dinámico, con el módulo de Seakeeping.
- Circular D.G.T.M. y M.M. Ordinario N°A-31/002 del 29 de agosto de 2023, que establece el procedimiento y exigencias técnicas para la elaboración y tramitación de Estudios de Maniobrabilidad (EM).
- BS-6349: Part 6: 1989 (Norma Británica).
- Guía para el diseño, Construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras Dirección de Obras Portuarias DOP Libro 4.
- British Ship Research Association - B.S.R.A.
- DM26-5 Design Manual "Fleet Moorings Basic Criteria and Planning Guidelines".
- API RP 2SK apartado 7.4.1 (American Petroleum Institute Recommended Practice 2SK)
- PIANC "Permanent International Association of Navigation Congresses."
- OCIMF "Oil Companies International Marine Forum".
- Procedimientos administrativos y requisitos técnicos DOP para el ingreso y revisión de proyectos desarrollados por particulares y organismos externos a la dirección de obras portuarias, octubre 2020 versión N°8.

2.- Aspectos metodológicos.

Una nave es afectada por variados esfuerzos externos que deben ser contrarrestados para mantenerlo en equilibrio y para el caso de encontrarse amarrado a un terminal multiboyas, las forzantes externas de viento, olas y corrientes son las más relevantes.

Por lo cual para determinar estas fuerzas externas que se ejercen sobre la nave y que ella en su posición de equilibrio ejerce sobre las 3 boyas de amarre, se deben aplicar las normas técnicas de la formulación de la ROM 3.1-99.

El resultado obtenido con la formulación de la ROM 3.1-99., que es el valor real, es comparado con el valor teórico indicado en la tabla N°3.4.2.3.5.15 10 de la Parte 3 de la ROM 0.2-90 en su página N°223, transcrita en la tabla N°6 del presente documento.

Comparados el valor real con el valor teórico, en caso de que el primero sea mayor que el segundo, para efectos del cálculo del dimensionamiento de la maniobra de fondeo se debe emplear el valor real calculado para la determinación el peso del ancla y la cadena. En caso contrario se emplea el valor teórico de la tabla N°6 ya indicada.

Para la obtención de las dimensiones mínimas de la maniobra de fondeo de las boyas (anclas y cadenas), el cálculo se realiza aplicando los diferentes factores de seguridad y la formulación de la catenaria, según BS-6349: Parte 6: 1989; BSRA; DM26-5; API RP 2SK apartado 7.4.1.

Obtenidas las dimensiones mínimas ya señaladas y considerando dos líneas de fuerza por boya, se calcula la capacidad de resistencia del sistema de fondeo por boya, cuyo resultado se coteja con las cargas de amarre señaladas en la tabla N°6 ya indicada.

De esta forma para la nave tipo considerada, se obtienen los factores de seguridad de la maniobra de fondeo a instalar. También se realizan los mismos cálculos para la retenida de la maniobra y obtener su factor de seguridad.

La norma británica BS-6349: Parte 6:1989 en su apartado 3.4.1 establece una lista de chequeo para el diseño de un sistema de amarre con sus paños de cadenas y anclas (sistema de fondeo) el cual determina la metodología normal a seguir.

Finalmente se aplica el software numérico, OPTIMOOR, en un análisis dinámico, para determinar las fuerzas que se ejercen en cada punto de amarre.

3.- Detalle de la metodología a ejecutar.

3.1.- Cálculo de fuerzas que ejercen los esfuerzos exteriores, condiciones ambientales.

Para calcular y obtener las fuerzas por cada condicionante ambiental y la fuerza combinada resultante, se aplica la formulación establecida en la publicación ROM 3.1-99, capítulo 4, los datos de la nave y los valores operacionales de las condiciones ambientales.

Considerando las características de la nave tipo y sus condiciones de liviano y máxima carga, se determinan los datos de la base de cálculos para obtener las fuerzas que ejercen sobre la nave tipo los efectos ambientales de viento, corrientes y oleaje.

Las condiciones ambientales que se aplican son las de permanencia

Tabla N°3: Condiciones ambientales

Viento:	Dirección Sur-West	24 nudos (12,34 m/s)
Corriente:	Nort-West (Fluye hacia el Norte)	0,5 nudos (25,72 cm/s)
	Sur-Este (Fluye hacia el Sur)	0,5 nudos (25,72 cm/s)
Ola:	Dirección SW	Altura: 2 m

3.2.- Fuerza a aplicar en los cálculos de dimensionamiento.

En la Parte 3 de la Publicación ROM 02-90, se establece que las cargas horizontales mínimas de amarre para naves entre 50.000 y 100.000 toneladas de desplazamiento son de $F=100$ ton, sin embargo, como la nave tipo tiene un desplazamiento máximo de 89.195 ton y emplea espías con un MBL de 75 ton y con su factor de seguridad de 1.5 la capacidad máxima es de 113 ton, por lo que la fuerza a emplear en el dimensionamiento es $F=150$ ton.

Si una vez obtenida la fuerza combinada resultante esta es menor a $F=150$, se aplican 150 toneladas de fuerza y si es mayor se aplica la fuerza obtenida resultante Tabla N°5, en pág. 34.

3.3.- Determinación del peso del ancla y dimensiones de las cadenas de la boya.

Definida la fuerza que se considerará como carga sobre los puntos de amarre, se determina el peso del ancla y dimensión de la cadena capaz de resistir dicha Fuerza. En cuyo cálculo se aplican, un factor de agarre para el ancla conforme a lo establecido en la Norma BS-6349: Parte 6: 1989, apartado 3.7.2 Anchor holding power, eficiencia por tipo

de anclas y suelos, además factor de seguridad conforme a lo recomendado por la API RP 2SK apartado 7.4.1 (American Petroleum Institute Recommended Practice 2SK) para sistemas de amarre. Tabla N°8.

3.4.- Determinación de los largos mínimos de las cadenas.

Los largos de cadena se obtienen de acuerdo a la fórmula de la Catenaria. (British Ship Research Association - B.S.R.A.), considerando que, al trabajar el ancla, el ángulo entre la caña de ella y el fondo marino no puede ser superior a 3°.

El largo mínimo necesario para resistir la fuerza máxima con una sola línea, está de acuerdo a los pesos de los componentes y la profundidad.

3.5.- Determinación de capacidad de la maniobra de fondeo y su factor de seguridad.

La capacidad de resistencia de la maniobra de fondeo se determina mediante el cálculo numérico de las características de las anclas y cadenas (peso del paño de cadena, peso y factor de agarre del ancla) y de acuerdo a la BS-6349, FOS (Factor of Safety) "normal operation condition", se obtiene el factor de seguridad. Tabla N°9.

3.6.- Factores de seguridad.

- Cargas de amarre igual a 150 toneladas, F=150 Ton. ROM 02-90, parte 3.
- Factor de agarre ancla de alto poder para suelos medianos/rocosos es igual a 20. BS-6349: Parte 6: 1989 (Norma Británica) apartado 3.7.2 Anchor holding power.
- Factor de seguridad sistema permanente de boyas igual a 1.5. API RP 2SK (American Petroleum Institute Recommended Practice 2SK),
- Factor de seguridad condición operacional normal igual 2. BS-6349: Parte 6: 1989 (Norma Británica). Tabla N°9 FOS (Factor of Safety) Normal Operation en página 31.
- Ángulo de uñas de anclas para suelos buenos 32° y para suelos pobre 50°. BS-6349: Parte 6: 1989 (Norma Británica) apartado 3.7.2 Anchor holding power.

3.7.- Factor de seguridad resultante de la maniobra de fondeo por cada boya.

3.7.1.- Consideraciones.

Para la estabilidad de la boya y asegurar su capacidad de resistencia se emplean dos patas o líneas de fuerza por boya y una retenida (consideradas en los cálculos), dando cumplimiento a las normas al respecto.

3.7.2.- Factor de seguridad final por boya.

El Factor de Seguridad resultante por cada boya se determina aplicando una fuerza F=100 toneladas, correspondiente a la nave tipo tabla N°6 en la página N°35.

Dado que se emplearán dos ganchos por boya con capacidad de 75 toneladas cada uno, la resistencia será de 150 toneladas (gancho pelícano doble).

De esta manera el factor de seguridad de cada boya será el cociente entre la fuerza resultante del sistema de fondeo de cada boya y la resistencia total ($F=200$).

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\text{Fuerza resultante del sistema de fondeo de cada boya}}{F=200}$$

3.8.- Resumen de Factores y valores de seguridad.

Tabla N°4: Factores y Valores de Seguridad

Factor	Norma	Valor a emplear
Carga de amarre.	ROM 02.90 tabla N°10	150 TM
Ancla de boya	BS-6349: Parte 6: 1989	20
Factor de agarre.	apartado 3.7.2. tabla N°11	
Boya factor de seguridad.	API RP 2SK tabla N°12	1,5
Condición operacional.	BS-6349: Parte 6: 1989 tabla N°13	3
Angulo caña ancla para longitud mínima de la cadena. (Cálculo catenaria).	Manual - British Ship Research Association	3°
Coeficiente H2O		0,87
Ángulo de las uñas del ancla.	BS-6349: Parte 6: 1989 apartado 3.7.2, fig. N°23	32° a 50°
Factor de seguridad final.	ROM 02.90 tabla N°10	100 TM x 2 = 200 TM

4.- Determinación de fuerzas

Las fuerzas resultantes (normas de la OCIMF) en cada línea de amarre, las fuerzas totales soportada por las boyas, el porcentaje de esfuerzo y los ángulos de trabajo se determinan mediante el empleo del software OPTIMOOR de análisis numérico.

Esta misma simulación empleando el OPTIMOOR, permite determinar los movimientos que experimentará la nave en sus seis ejes de libertad, visualizando y graficando cómo se comportará el sistema de amarre.

El desarrollo y resultados se incluyen en el **Capítulo X**.

IX.- MEMORIA DE CÁLCULO DE FUERZAS.

Los esfuerzos resultantes de las fuerzas externas sobre la nave, se obtienen aplicando la formulación definida en la Parte 4 de la ROM 3.1-99 "Acciones externas sobre la Nave", cuyo detalle y desarrollo se adjunta en el Anexo "D" y "E".

1.- Cálculo de las forzantes exteriores sobre la nave.

Las condiciones límites de operación de permanencia a aplicar son las siguientes:

Viento:	Dirección Sur-West	24 nudos (12,34 m/s)
Corriente:	Nor-West (Fluye hacia el Norte)	0,5 nudos (25,72 cm/s)
	Sur-Este (Fluye hacia el Sur)	0,5 nudos (25,72 cm/s)
Ola:	Dirección SW	Altura: 2 m

2.- Fuerzas resultantes.

Los esfuerzos resultantes de las forzantes exteriores sobre la nave tanto en la condición de máxima carga como liviano, se determinan aplicando la formulación definida en la Parte 4, de la ROM 3.1-99. El detalle con el desarrollo se adjunta en el Anexo "E". Un resumen se muestra a continuación.

2.1.- Fuerza combinada resultante

La fuerza combinada resultante es la sumatoria de cada uno de los esfuerzos que ejercen las variables de viento, corriente y oleaje. Ver Anexo D y E.

El cálculo de los esfuerzos se realiza con la nave en su posición y orientación de amarre para las faenas de carga y descarga, posición en la cual los esfuerzos deben ser contrarrestados con el sistema de amarre.

El eje longitudinal de la nave es 230°/050°, el cual es la orientación del terminal multiboyas

Tabla N°5: Resumen fuerzas combinadas

Resumen Fuerzas Combinadas de Viento, Corrientes y Olas							
220.00	Rb		230.00	Fuerzas Transversales		Fuerzas Longitudinales	
Viento	Corriente		Olas	Cargado	Liviano	Cargado	Liviano
24 nudos	0,5 nudos		Hs=2 m				
N	SW		SW	15.81	25.38	-3.12	-5.83
NE	SW		SW	2.07	3.16	-6.32	-10.07
E	SW		SW	-12.53	-20.25	-3.91	-6.72
SE	SW		SW	-21.91	-36.78	1.18	-0.40
S	NE		SW	-17.14	-26.39	12.07	9.97
SW	NE		SW	-3.14	-3.82	15.55	14.59
W	NE		SW	11.92	20.26	12.92	10.92
NW	NE		SW	20.98	36.33	7.70	4.46

En la tabla N°5, se visualiza que la fuerza combinada total que se ejerce sobre la nave en su posición de amarre es $F = 15,55$ toneladas que corresponde al mayor valor del viento predominante, de acuerdo a las condiciones ambientales de permanencia, límites operacionales.

$F = 15,55$ Toneladas.

Al aplicar un factor de Factor de seguridad de un 25% la fuerza combinada total (FCT) resultante es:

$$FCT = 15,55 + (15,55 \times (25\%)) = 15,55 + 3,88 = 19,43 = 20 \text{ toneladas}$$

X.- DIMENSIONAMIENTO TEÓRICO DE LA MANIOBRA DE FONDEO DE LAS BOYAS DE AMARRE.

1.- Cargas horizontales mínimas de amarre.

Las cargas horizontales mínimas de amarre a aplicar, serán de 150 toneladas métricas (TM), conforme a lo señalado en el Capítulo VII, acápite 3.2 de la Metodología.

Tabla N°6: Cargas horizontales mínimas de amarre para buques de desplazamiento superior a 20.000 t (ROM 02.90)

DESPLAZAMIENTO (en TM)	CARGAS DE AMARRE (en TM)
20.000 ~ 50.000	80
50.000 ~ 100.000	100
100.000 ~ 200.000	150
> 200.000	200

2.- Determinación de Carga sobre los puntos de amarre (boyas).

Como se ha fundamentado anteriormente para la determinación del peso mínimo de ancla, medida y largo de las cadenas se considera una Fuerza **F = 150 TM** dado que La fuerza combinada total es de **FCT=20 TM**.

3.- Composición elementos de la boya de amarre.

El sistema de fondeo de la boya de amarre se determinará en los siguientes párrafos conforme al flujo que se muestra.

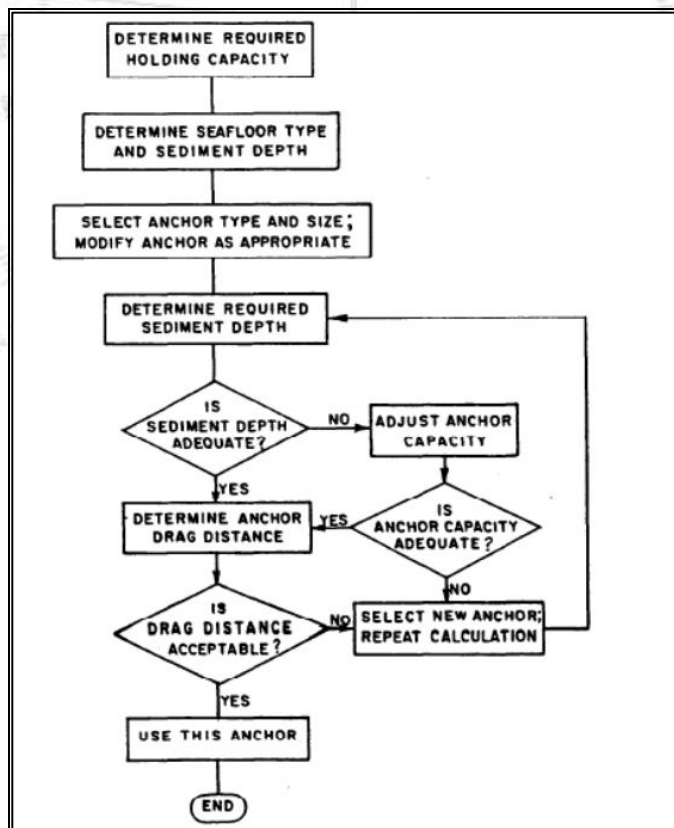


Figura N°25: Diagrama de flujo para dimensionar el tipo de ancla adecuado (DM26-5).

3.1.- Ancla:

El poder de agarre de un ancla de patente, considerando un ángulo de tiro no superior a 3° con respecto a la horizontal del fondo, se define de acuerdo a fórmulas empíricas convencionales para diferentes calidades de fondo marino, que están establecidas en la norma británica "BS 6349: PARTE 6: 1989, "Design of inshore moorings and floating structures" la cual entrega el factor de eficiencia de los distintos tipos de anclas, según la tabla N°7 que se muestra a continuación:

Tabla N°7: Factores de eficiencia

Tipo de anclas	Suelos pobres	Suelos buenos	
	Fangos y arcilla blanda	Arena y arcilla consistente	
Anclas de peso muerto	0.3	a	0.5
Anclas sin cepo	2.0	a	5.0
Anclas con cepo	5.0	a	10.0
Anclas de alto poder de agarre	10.0	a	30.0
Ref: BS 6349-6:1989 numeral 3.7.2 Anchor holding power			

Considerando que el fondo marino se caracteriza por una predominancia de arenas finas y fango lo que permitirá que las anclas se asienten de buena forma en el lecho marino, definiéndose que se emplean para este tipo de maniobras anclas de alto poder de agarre (HHP) se adopta un factor de agarre de 20.

Por otra parte, de acuerdo a lo señalado por la API RP 2SK apartado 7.4.1 (American Petroleum Institute Recommended Practice 2SK), se considera un factor de seguridad de 1.5 según lo indicado en la Tabla N°8, debido a:

- **Sistema Permanente**, (boyas son fondeadas y permanecen en dicha posición hasta que corresponda sólo su levantamiento por mantención).
- **Condiciones intactas**, es decir sin sufrir deterioros o daños por las condiciones medioambientales y,
- **condiciones dinámicas**, dado los movimientos a los cuales se ve afectada la nave amarrada (6 ejes de libertad de movimiento).

Tabla N°8: Factores de seguridad

	Quasi Static Analysis	Dynamic Analysis
Permanent Mooring (amarre permanente)		
Intact condition		1.5
Damage condition		1.0
Mobil Mooring		
Intact condition	1.0	0.8
Damage condition	Not required	Not required

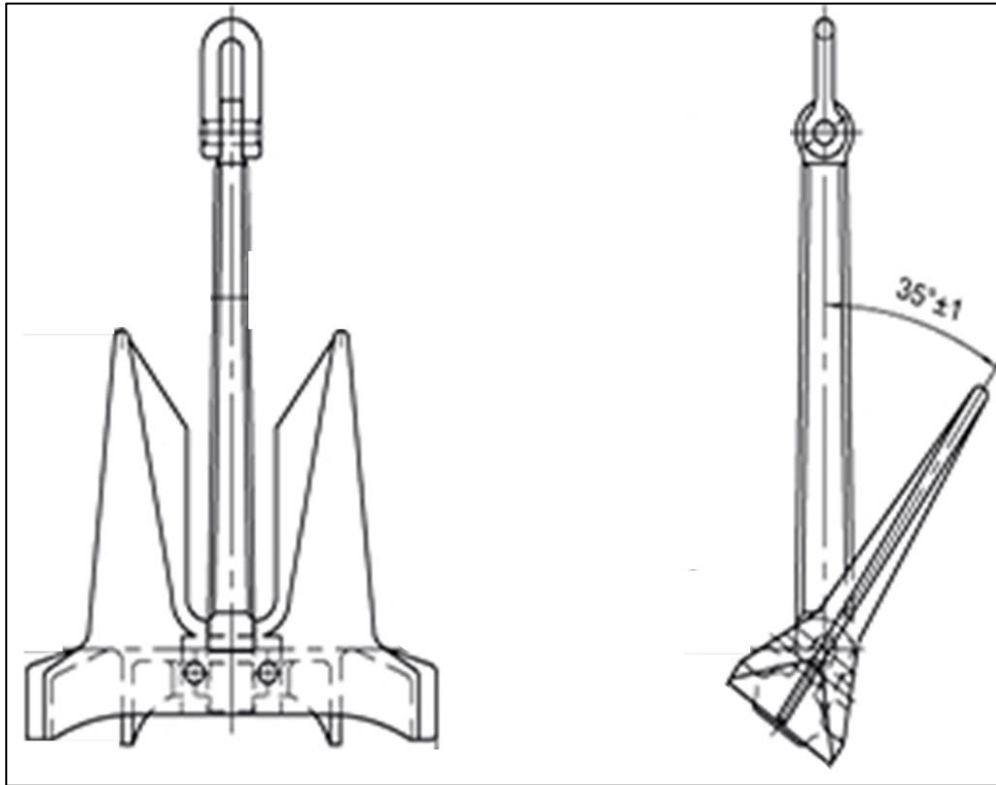


Figura N°26: Ancla de alto poder de agarre. AC 14 HHP.

En consideración a la calidad del fondo donde se fondearán las anclas, fango y arenas finas (baja densidad), se empleará un ancla con un ángulo en torno a los 50° entre la caña de esta y las uñas, que asegura una penetración óptima.

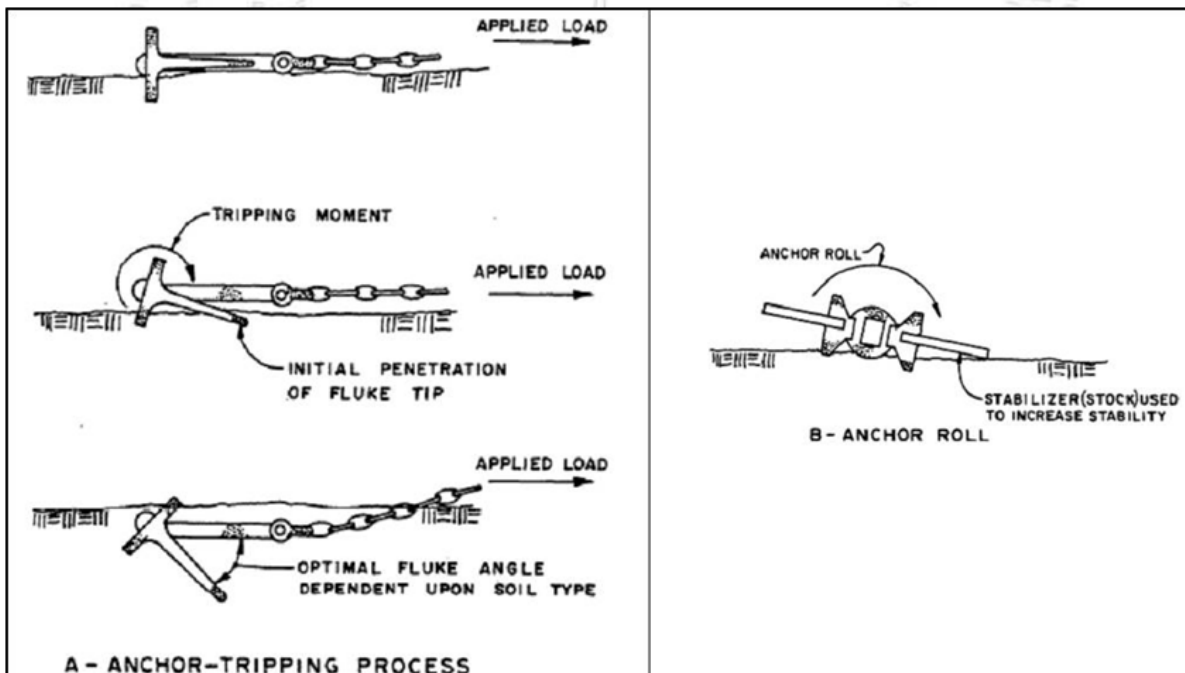


Figura N°27: Ejemplo de forma de trabajo del ancla

3.2.- Cadenas de trabajo:

3.2.1.- Determinación del diámetro de la cadena

Para esto se deben tener presente los dos puntos siguientes:

3.2.1.1 Para obtener el factor de seguridad del sistema se emplea como referencia la tabla N°4 de la BS 6349-6, (Corresponde a Figura N°28). Considerando una operación normal el FOS a aplicar es 3.0.

3.2.1.2 Siendo la fuerza de carga **F=150 TM** y el factor de seguridad (FOS) de 3.0, se obtiene la carga de ruptura de la cadena (breaking load). Con este valor se ingresa a la Tabla "Dimensiones de cadenas" en el anexo "C" para determinar la dimensión de la cadena a emplear.

Criterio sugerido para la elección de los componentes del sistema de fondeo

Component	Normal operating condition	Extreme condition
Chain (see 3.5.5) Ropes (see note 1) (see 3.5.5) Shackles Mooring point on structure (see 4.2.1.3) Drag embedment anchors (see note 2) Piled anchors	FOS = 3.0 FOS = 3.0 Maximum load = SWL (Factor of safety) (Safe working Load)	FOS = 2.0 FOS = 2.0 Maximum load < proof load Ultimate capacity = 1.2 × chain or wire breaking load The holding power should be greater than the maximum load expected, but generally less than the breakload of the chain or wire Ultimate capacity at least minimum breaking load of chain or wire
NOTE 1 Adequate inspection and/or renewal is assumed. Higher factors of safety should be considered if the location is exposed such that heavy cyclic loading occurs. NOTE 2 The consequences of anchor drag should be considered when selecting holding power.		

Figura N°28: Tabla N°4 de la publicación BS 6349, Parte 6.

3.2.2.- Determinación de la longitud mínima de la cadena.

Con la "Fórmula de la Catenaria" (British Ship Research Association - B.S.R.A.), se determina la longitud mínima de la cadena, para que al trabajar el ancla su caña no sobrepase los 3° con respecto a la horizontal del fondo marino. Figura N°29.

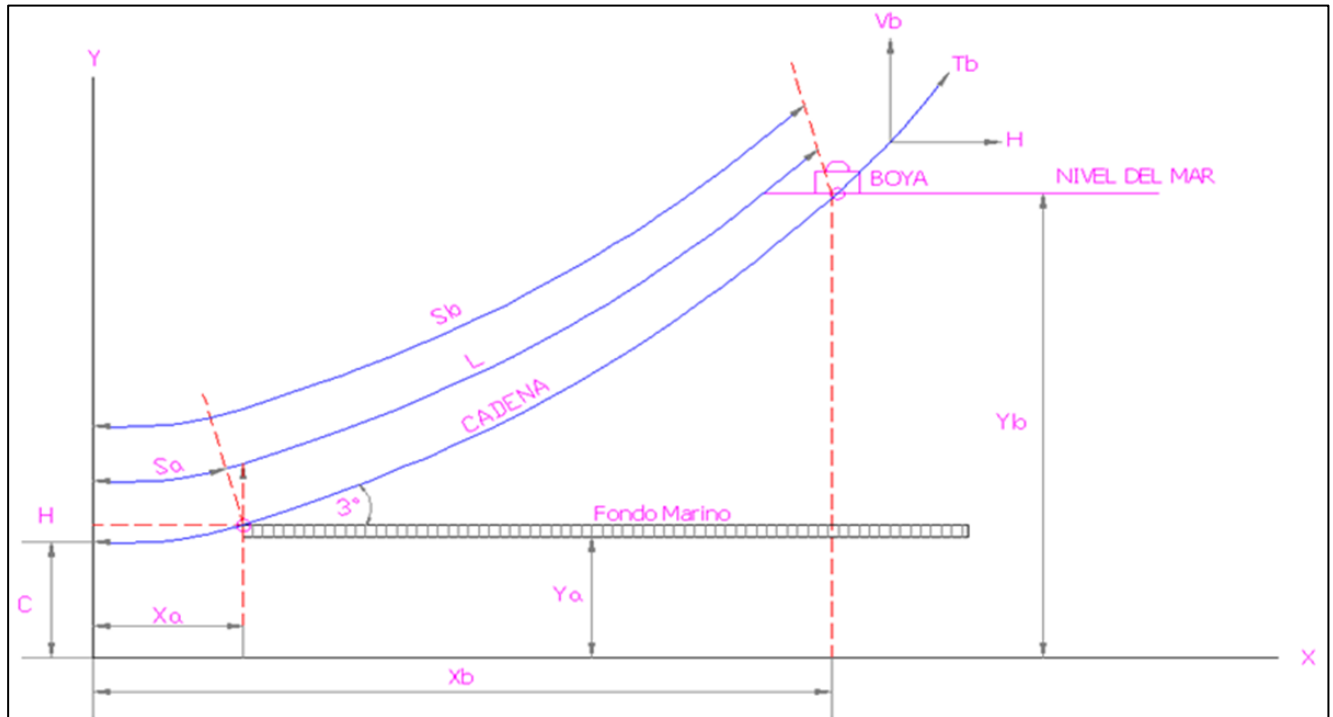


Figura N°29: Componentes Curva de la Catenaria.

Luego, se aplican la siguiente fórmula:

$$W_{agua} = W_{cadena} * 0,87 \text{ (Factor)}$$

- Donde W_{cadena} es el peso lineal de la cadena grado 3 (en libras por metro lineal) por cada paño
- Factor 0,87 determina el peso de la cadena sumergida en agua de mar de densidad de 1,025.

$$C = \frac{F_b}{W_{agua}}$$

W_{agua} : peso cadena en el agua

Donde C: Es la relación entre la tensión horizontal (H) y la tensión vertical (V_b) de la catenaria considerada desde el punto de fondeo del ancla, dando como resultado la tensión máxima de ésta, asignada como T_b .

Dado lo anterior, se desprende la longitud (en pies) de la catenaria, considerando la relación entre la fuerza aplicada a la boya F_b (cálculo diagrama de cuerpo libre) y el peso de la cadena en agua de mar.

$$V_a = F_b * Tg(3^\circ)$$

V_a = Corresponde a la tensión de la catenaria en el punto de fondeo del ancla, en libras, considerando la relación entre la tensión aplicada en " F_b " (cálculo diagrama de cuerpo libre) y la tangente de 3° (Tg) del ángulo de trabajo del ancla. Las normas establecen un ángulo variable entre 0° a 3° . Un mayor ángulo implica que la catenaria comienza a levantar

el ancla enterrada en el fondo marino por efectos de oleaje, mareas y por fuerte tensión de la nave.

$$S_a = \frac{V_a}{W_{agua}}$$

S_a = Es la relación entre la tensión total de la catenaria requerida en libras, obtenida de V_a y el peso de la cadena sumergida en agua de mar, estableciéndose el largo convencional total requerido de la catenaria,

$$Y_a = \sqrt{S_a^2 + C^2}$$

Y_a = Es el resultado de la raíz cuadrada del largo convencional total de la cadena requerida al cuadrado, sumado la longitud de la cadena de la catenaria requerida al cuadrado. Como resultado se obtiene el largo total de la cadena en pies.

$$Y_b = Y_a + h$$

Y_b = Es la sumatoria del largo total asumido de la catenaria y (h) distancia desde arganeo boya hasta al fondo marino.

$$S_b = \sqrt{(Y_b)^2 - C^2}$$

S_b = Es el resultado de la raíz cuadrada del largo total asumido de la catenaria al cuadrado menos la longitud de la cadena de la catenaria al cuadrado. El resultado es el largo total de la catenaria necesaria para establecer el largo de la cadena a utilizar.

4.- Dimensionamiento elementos de fondeo de la boya.

Para este dimensionamiento se emplearán de acuerdo a lo expresado anteriormente, así se determina el peso mínimo del ancla, tipo de cadena (diámetro y longitud) y cantidad de paños mínimos del sistema de fondeo por cada boya, considerando una fuerza de **F= 150 TM**, como carga sobre los puntos de amarre.

4.1.- Cálculo teórico.

Fuerza resultante:	(a)	=	F	150	TM
Factor de seguridad Cadena:	(b)	=		3	
Factor de agarre de ancla:	(c)	=		20	
Factor de seguridad de ancla:	(d)	=		1,5	

CÁLCULO PESO DEL ANCLA

Peso no inferior a: $[(a/c) * d] = [(150/20) * 1.5] = 11,5 \text{ TM} \quad 25.353 \text{ lb}$

CÁLCULO MEDIDA DE LA CADENA

Carga de ruptura cadena:	(a * b)	=	450	TM	992079	lb
Cadena Grado 3 – Diámetro – Peso por Paño		=	3 ½"		10500	lb

CÁLCULO LONGITUD DE LA CADENA (Fórmula de Catenaria)

Peso promedio en seco de la cadena	Wc	381,82	Lb/mt	
Peso promedio sumergido de la cadena	Ww	331,95	Lb/mt	
$C = F/Ww$		996,21	mt	
Condición de tiro en ancla, α debe ser \leq a 3°				Va
$Va = F * \text{Tangente } 3^\circ$		17330,89	lb	
$Sa = Va / Ww$		52,21	mt	
$Y_a = \sqrt{Sa^2 + C^2}$		997,57	mt	
P = Profundidad + rango marea	14,1+1,7	15,8	mt	Orinque
$Yb = Ya + P$		1013,37	mt	
$S_b = \sqrt{(Y_b)^2 - C^2}$		185,74	mt	
Longitud de la cadena = $Sb - Sa$	185,74-52,21	133,53	mt	
Paños de cadena de 3,5" requeridos incluido el Orinque	4,85 Paños	133,53	m	
Paños requeridos para la Boya	4,28 Paños	117,73	m	
Orinque (paños)	0,6 Paños	15,8	m	

4.2- Resultados del cálculo teórico.

Conforme a lo calculado en el acápite anterior, se determina lo siguiente:

- El peso mínimo del ancla debe ser de **11,5 TM (25353 lb)** de alto poder de agarre.
- La medida de la cadena debe ser de **3 1/2" grado 3 ABS**.
- La cantidad de paños mínima determinada para la línea de fondeo de la Boya son los siguientes:

Boya	4,3 paños
Orinque:	<u>0,6 paños</u>
Total:	4,9 paños

5.- Sistema de fondeo a dimensionar.

El Terminal multiboyas de YPFB Transporte en la bahía de Arica, está compuesta de 3 boyas con sus cadenas y anclas, cuyo diseño incluye la utilización de dos patas de fuerza de 4 paños cada una por boya.

5.1.- Determinación de la capacidad para resistir las solicitaciones por cada boya.

La capacidad del sistema de fondeo de una boya para resistir las solicitaciones es función del peso del ancla, del factor de seguridad y dimensiones de las cadenas y orinque.

Para obtener una mayor estabilidad, asegurar la disponibilidad de contar siempre con al menos una pata o línea de fuerza en la dirección de las solicitaciones y evitar que las boyas se desplacen de su posición, se emplearán dos patas de fuerza.

Las longitudes de cada pata o línea de fuerza se determinan de acuerdo a la capacidad de resistir la fuerza y teniendo en consideración que el primer paño a partir del ancla no se

despegará del fondo marino para que la caña del ancla no sobrepase el ángulo de 3° con respecto al fondo. Además, se debe mantener un factor de seguridad del sistema de fondeo no inferior a 2.

Considerando lo expuesto y los elementos de fondeo, de acuerdo a la información disponible del diseño del terminal de las 3 boyas y sus sistemas de fondeo, se calcula la capacidad de la boya de amarre para resistir las solicitaciones.

5.2.- Boyas y sistemas de fondeo definidos a dimensionar.

De acuerdo a la norma establecida en la ROM 3.1-99, Parte 8, punto 8.8.5, se ha definido el diagrama del Terminal Multiboyas y además teniendo presente los largos mínimos calculados en el punto 4.1 anterior, el cual se muestra en el siguiente diagrama. En este se establecieron las boyas con ángulos entre boyas de 51° generando un ángulo de 102° entre la boya sur y la norte, estando dentro de la norma, y se establecieron 45° entre las dos patas de fuerza de cada boya excepto la boya norte que tiene 52° con 4 paños de cadena cada pata de fuerza en cada boya, sobre el mínimo determinado anteriormente.

Con esta información se calculan las fuerzas resultantes y el factor de seguridad para cada boya cuyo desarrollo se realiza a continuación:

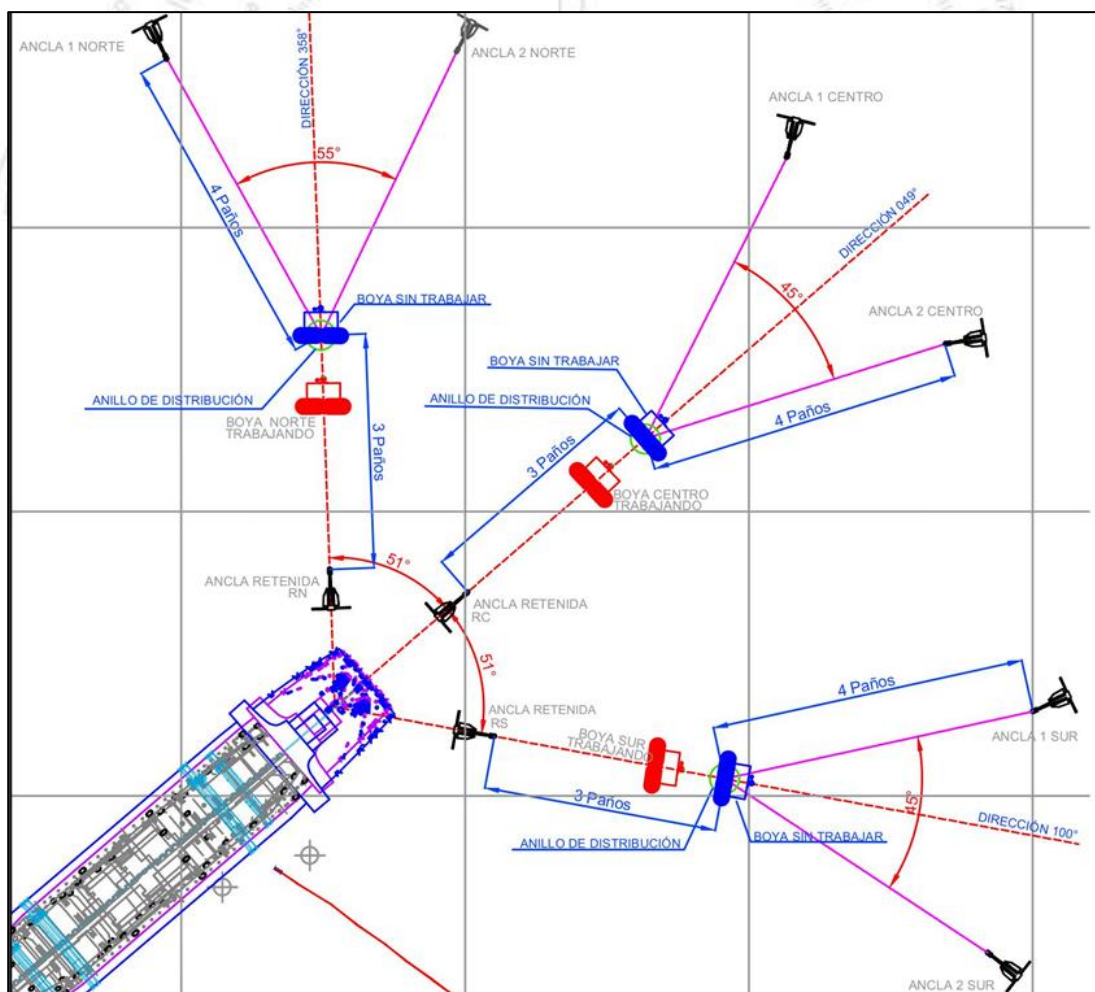


Figura N°30: Diagrama de Boyas diseñado.

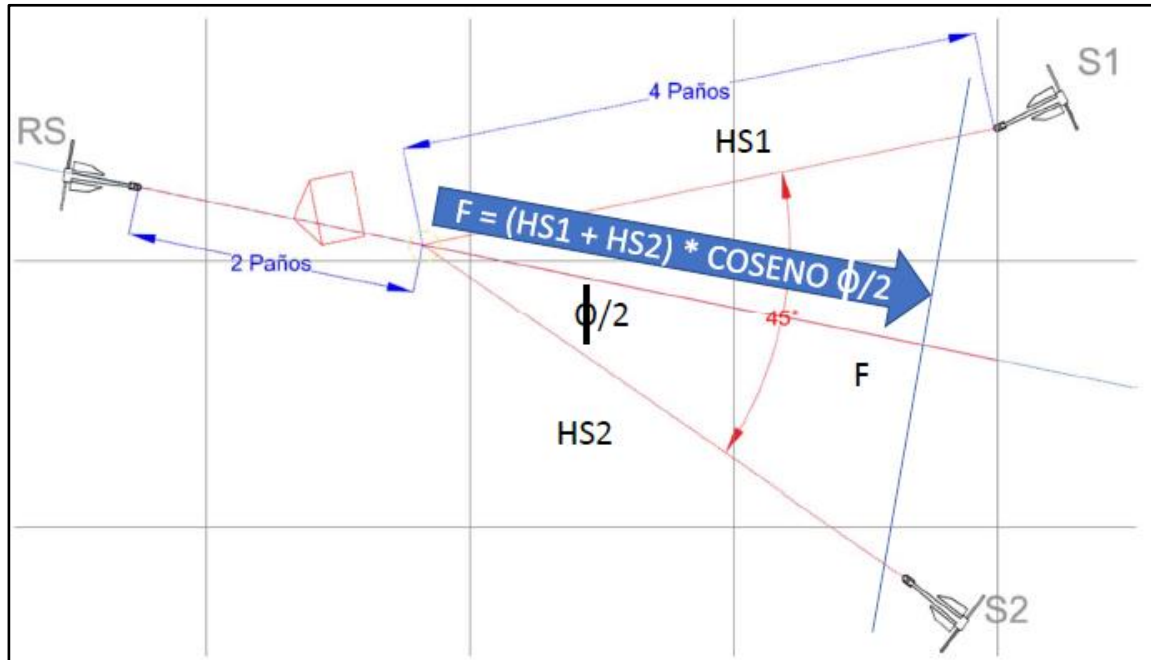


Figura N°31: Diagrama Fuerza resultante = F , válido para las 3 boyas.

5.2.1.- Cálculo de fuerzas y factor de seguridad Boya N°1 – Sur.

a.- Componentes.

Boya cilíndrica con dos ganchos pelícanos de 75 Ton c/u, con los siguientes componentes:

Componente BOYA	Grilletes Unión	Grilletes Ancla	Giratorios	Anillos de distribución	Paños de cadena	Metros/paño	Ancla AC14 HHP
Línea Norte	3	2			4 x 27,5 m x 3,5"	110/4	11,5 ton
Línea Sur	3	2			4 x 27,5 m x 3,5"	110/4	11,5 ton
Retenida	2	2			3 x 27,5 m x 3,5"	82,5/3	4 a 5 ton
Orinque		4	1	1	Tramo de 6 m	6/0,22	
					Tramo de 13 m	13/0,47	

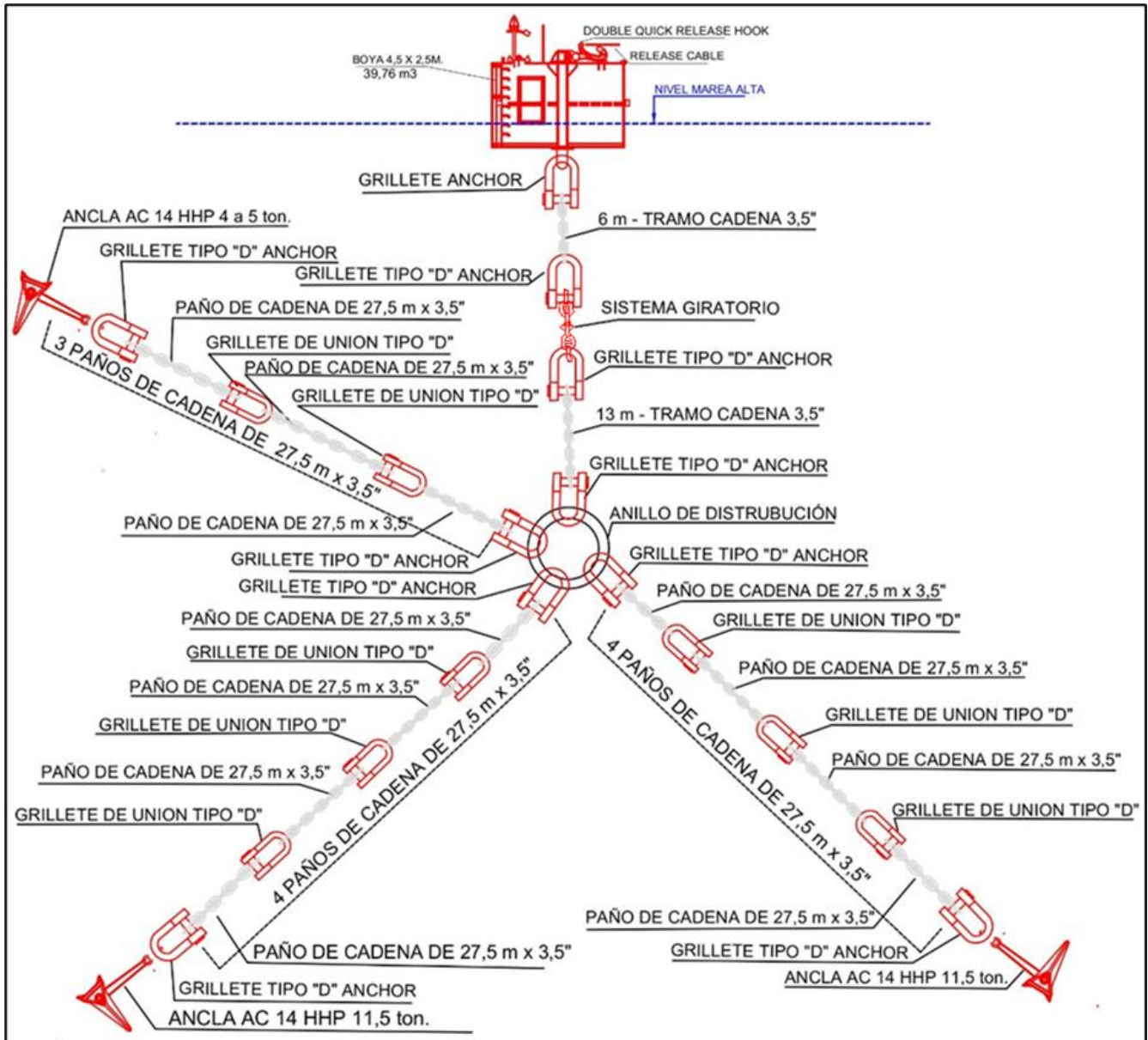


Figura N°32: Esquema Boya N°1.

b.- Cálculos de fuerzas de resistencia.

Considerando que todas las boyas tienen los mismos componentes la determinación de fuerzas es la siguiente:

- Boya N°1 - Sur

	Peso TM	Peso Paño - Lb	Factor de agarre (FA)
Ancla N°1	11,5		20
Ancla N°2	11,5		20
Cadena Grado 3		10.500	

Pata N°1	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
		4 / 110	3,5"	10.500	42.000	
Ancla N°1			Peso - TM	FA		
			11,5	20	11,5 x 20	230
Total Pata N°1						249,05

Pata N°2	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
	4 / 110	3,5"	10.500	42.000		19,05
Ancla N°2			Peso - TM	FA		
			11,5	20	11,5 x 20	230
Total Pata N°2						249,05

Orinque	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
	0,84 / 23	3,5"	10.500	8.781,82		3,98
Total Orinque						3,98

Fuerza resultante Pata N°1 249,05 TM
 Fuerza resultante Pata N°2 249,05 TM
 Fuerza resultante Orinque 3,98 TM
 Ángulo entre patas 45 °
 Fuerza resultante entre patas $F=(N°1+N°2) * \cos \phi/2$
 460,19 TM
 Fuerza Total = F + orinque = 464,17 TM
 Fuerza de solicitaciones teórica nave tipo 100,00 TM
 Factor de Seguridad sistema de fondeo Boya Teórico = $464,17/200 = 2,32$
 Fuerza real calculada de las solicitaciones de la nave tipo 20,00 TM
 Factor de seguridad con la fuerza real calculada = $464,17/20 = 23,20$

5.2.2.- Cálculo de fuerzas y factor de seguridad Boya N°2 – Centro.

a.- Componentes.

Boya cilíndrica con dos ganchos pelícanos de 75 Ton c/u, con los siguientes componentes:

Componente BOYA	Grilletes Unión	Grilletes Ancla	Giratorios	Anillos de distribución	Paños de cadena	Metros/ paño	Ancla AC14 HHP
Línea Norte	3	2			4 x 27,5 m x 3,5"	110/4	11,5 ton
Línea Sur	3	2			4 x 27,5 m x 3,5"	110/4	11,5 ton
Retenida	2	2			3 x 27,5 m x 3,5"	82,5/3	4 a 5 ton
Orinque		4	1	1	Tramo de 6 m	6/0,22	
					Tramo de 13 m	13/0,47	

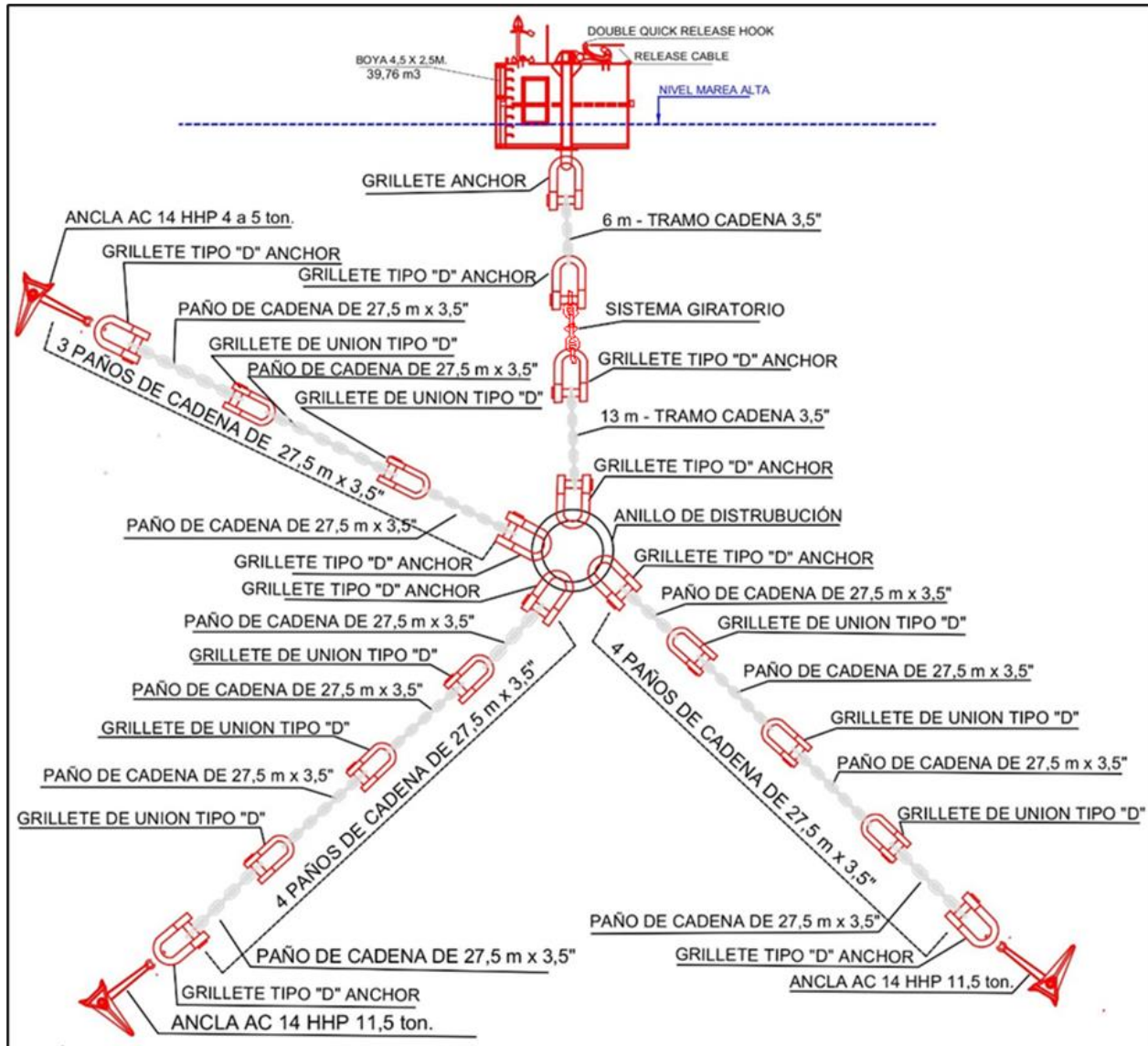


Figura N°33: Esquema Boya N°2.

b.- Cálculos de fuerzas de resistencia.

	Peso TM	Peso Paño - Lb	Factor de agarre (FA)
Ancla N°1	11,5		20
Ancla N°2	11,5		20
Cadena Grado 3		10.500	

Pata N°1	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
		4 / 110	3,5"	10.500	42.000	
Ancla N°1			Peso - TM	FA		
			11,5	20	11,5 x 20	230
Total Pata N°1						249,05

Pata N°2	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas/	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
		4 / 110	3,5"	10.500	42.000	
Ancla N°2			Peso - TM	FA		
			11,5	20	11,5 x 20	230
Total Pata N°2						249.05

Orinque	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
	0,84 / 23	3,5"	10.500	8.781,82		3,98
Total Orinque						3,98

Fuerza resultante Pata N°1 249,05 TM
Fuerza resultante Pata N°2 249,05 TM
Fuerza resultante Orinque 3,98 TM
Ángulo entre patas 45 °
Fuerza resultante entre patas $F = (N°1 + N°2) * \cos \phi / 2$
460,19 TM
Fuerza Total = F + orinque = 464,17 TM
Fuerza de solicitaciones teórica nave tipo 100,00 TM
Factor de Seguridad sistema de fondeo Boya Teórico = $464,17 / 200 = 2,32$
Fuerza real calculada de las solicitaciones de la nave tipo 20,00 TM
Factor de seguridad con la fuerza real calculada = $464,17 / 20 = 23,20$

5.2.3.- Cálculo de fuerzas y factor de seguridad Boya N°3 – Norte.

a.- Componentes.

Boya cilíndrica con dos ganchos pelícanos de 75 Ton c/u, con los siguientes componentes:

Componente BOYA	Grilletes Unión	Grilletes Ancla	Giratorios	Anillos de distribución	Paños de cadena	Metros/ paño	Ancla AC14 HHP
Línea Norte	3	2			4 x 27,5 m x 3,5"	110/4	11,5 ton
Línea Sur	3	2			4 x 27,5 m x 3,5"	110/4	11,5 ton
Retenida	2	2			3 x 27,5 m x 3,5"	82,5/3	4 a 5 ton
Orinque		4	1	1	Tramo de 6 m	6/0,22	
					Tramo de 13 m	13/0,47	

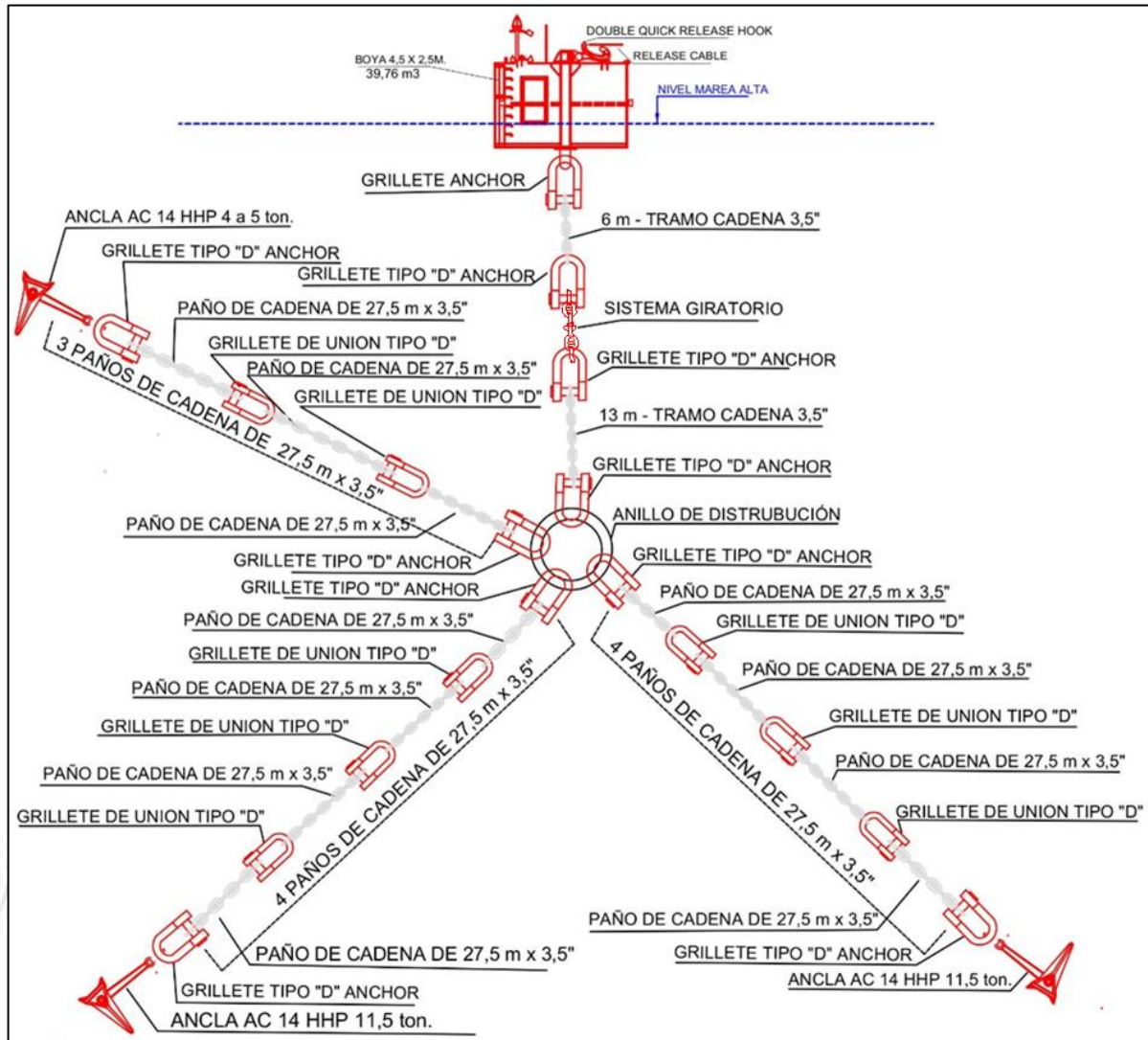


Figura N°34: Esquema Boya N°3.

b.- Cálculos de fuerzas de resistencia.

	Peso TM	Peso Paño - Lb	Factor de agarre (FA)
Ancla N°1	11,5		20
Ancla N°2	11,5		20
Cadena Grado 3		10.500	

Pata N°1	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
		4 / 110	3,5"	10.500	42.000	
Ancla N°1			Peso - TM	FA		
			11,5	20	11,5 x 20	230
Total Pata N°1					249,05	

Pata N°2	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
	4 / 110	3,5"	10.500	42.000		19,05
Ancla N°2			Peso - TM	FA		
			11,5	20	11,5 x 20	230
Total Pata N°2						249,05

Orinque	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
	0,84 / 23	3,5"	10.500	8.781,82		3,98
Total Orinque						3,98

Fuerza resultante Pata N°1 249,05 TM
 Fuerza resultante Pata N°2 249,05 TM
 Fuerza resultante Orinque 3,98 TM
 Ángulo entre patas 52 °
 Fuerza resultante entre patas $F = (N°1 + N°2) * \cos \phi / 2$
 447,69 TM
 Fuerza Total = F + orinque = 451,67 TM
 Fuerza de solicitaciones teórica nave tipo 100,00 TM
 Factor de Seguridad sistema de fondeo Boya Teórico = $451,67 / 100 = 2,26$
 Fuerza real calculada de las solicitaciones de la nave tipo 20,00 TM
 Factor de seguridad con la fuerza real calculada = $451,67 / 20 = 22,58$

5.3.- Cuadro resumen de factores de seguridad y fuerzas para el diagrama de boyas.

Tabla N°9: Resumen factores de seguridad y fuerzas

	Capacidad calculada	Fuerza 100T X 2 = 200T Factor de Seguridad	Fuerza real 20T Factor de seguridad
Boya Sur	464,17	2,32	23,20
Boya Centro	464,17	2,32	23,20
Boya Norte	451,67	2,26	22,58

6.- Determinación de la Retenida.

Es práctica habitual instalar un anclaje en el sentido contrario al sentido de tiro para evitar el corrimiento de la boya por efecto del viento, corriente y olas, denominada comúnmente retenida. Esta debe tener sólo la capacidad de evitar que la boya no se salga de su zona de trabajo, cuando no existen naves amarradas a ellas.

Objeto dimensionar la retenida, ancla y cadena, se debe determinar las fuerzas que ejercen sobre ella los factores exteriores.

6.1.- Fuerzas exteriores que se ejercen sobre la Boya.

Se determinan los esfuerzos resultantes de las acciones exteriores sobre la boya, aplicando la formulación definida en la ROM 3.1-99.

6.1.1.- Fuerza combinada resultante.

La fuerza combinada resultante es la sumatoria de cada una de los esfuerzos que ejercen las variables de viento, corriente y oleaje.

Tabla N°10: Resumen fuerzas combinadas

Resumen Fuerzas Combinadas de Viento, corrientes y Olas						
5.00	Rb	230.00	Fuerzas Transversales		Fuerzas Longitudinales	
Viento	Corriente	Olas	Cargado		Cargado	
24 Nds	0,5 Nds	Hs=2 m				
N	SW	SW	0.07		-0.07	
NE	SW	SW	0.01		-0.10	
E	SW	SW	-0.06		-0.08	
SE	SW	SW	-0.09		-0.02	
S	NE	SW	-0.07		0.07	
SW	NE	SW	-0.01		0.10	
W	NE	SW	0.06		0.08	
NW	NE	SW	0.09		0.02	

A la fuerza resultante de 0,10 Toneladas, para efectos de cálculos y lo que la práctica, el uso y costumbre indica, se asume un valor de 1 Tonelada de fuerza sobre la Boya.

6.2.- Cálculo de dimensionamiento de la retenida.

Fuerza resultante: (a) = F 1 TM 2204,62 lb.
Factor de seguridad Cadena: (b) = 3
Factor de agarre de ancla: (c) = 20
Factor de seguridad de ancla: (d) = 1,5

CÁLCULO PESO DEL ANCLA

Peso no inferior a: [(a/c) * d] = 0,075 TM 165 lb

CÁLCULO MEDIDA DE LA CADENA

Carga de ruptura cadena:	(a * b) =	3	TM	6614	lb
Cadena necesaria menor a:		$\frac{3}{4}$ "			
Cadena Grado 3 – Diámetro – Peso por Paño	=	3 $\frac{1}{2}$ "		10500	lb

6.3.- Cálculo de longitud de cadena de la retenida.

Para esta determinación se aplica la mayor longitud de orinque determinado en todo el sistema el cual es de 23 metros. (sector de mayor profundidad), debido a que la cadena de la retenida cuando sea tractada, en el sector engrilletado al ancla no debe levantarse en un ángulo superior a 3° con respecto al fondo.

Por otra parte, dado que la cadena teórica calculada es de una medida de $\frac{3}{4}$ ", lo que difiere de la dimensión de las líneas de fuerza, objeto estandarizar, para el cálculo se empleará la medida de las cadenas determinadas para su uso en las líneas de fuerza, que es de 3 $\frac{1}{2}$ ".

Cálculo longitud de cadena retenida (Formula de la Catenaria).

Peso promedio en seco de la cadena	Wc	381,82	Lb/m	
Peso promedio sumergido de la cadena	Ww	331,95	Lb/m	
$C = F/Ww$		6,64	m	
Condición de tiro en ancla, \angle debe ser \leq a 3°				Va
$Va = F * \text{Tangente } 3^\circ$		115,54	lb	
$Sa = Va / Ww$		0,35	m	
$Y_a = \sqrt{Sa^2 + C^2}$		6,65	m	
P = Profundidad + rango marea	14,1+1,7	15,8	m	Orinque
$Yb = Ya + P$		22,45	m	
$S_b = \sqrt{(Y_b)^2 - C^2}$		21,45	m	
Longitud de la cadena = $Sb - Sa$	21,45-0,35	21,10	m	
Paños de cadena de 3,5" requeridos incluido el Orinque	0,8 Paños	133,53	m	
Paños requeridos para la Boya	0,2 Paños	4,7	m	
Orinque (paños)	0,6 Paños	15,8	m	

6.4.- Resumen.

Dado los resultados obtenidos se determina que las anclas debieran ser de 0,075 ton, (165 lb) y la cadena de $\frac{3}{4}$ ".

Para efectos del cálculo de la longitud, se empleó una cadena de 3 $\frac{1}{2}$ " que son las que se determinaron usar.

Las boyas N°1, N°2 y N°3 poseen retenidas y las anclas a instalar son de 4 ton (8.818,4 lb) y la cadena de 3 $\frac{1}{2}$ " con 3 paños de longitud, las 3 boyas son iguales.

6.5.- Cálculo de las retenidas

Para el cálculo de los factores de seguridad se consideran los pesos y medidas de las anclas y cadenas diseñadas para su uso lo cual permitirá comprobar la capacidad del sistema y su seguridad.

6.5.1- Boya N°1, N°2 y N°3

6.5.1.1.- Resistencia de la Retenida

	Peso TM	Peso Paño - Lb	Factor de agarre (FA)
Ancla	4,0		20
Cadena Grado 3 – 31/2"		10.500	

Lb por TM = 2204,621

Pata N°1	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
		3 / 82,5	3,5"	10.500	31.500	
Ancla N°1			Peso - TM	FA		
			4,0	20	4,0 x 20	80
Total Pata						94,28

Orinque	N°Paños / m	Dimension/ Pulgadas	Peso - Lb		Fuerza en TM	
			Unitario	Total		
	0,84 / 23	3,5"	10.500	8.820		4,00
Total Orinque						4,00

Fuerza resultante Pata retenida 94,28 TM
Fuerza resultante Orinque 4,00 TM
Fuerza Total = F + Orinque 98,28 TM

6.5.1.2.- Factor de seguridad retenida.

Fuerza Total retenida	=	98,28	=	98,28 TM
Fuerza de Solicitaciones	=	1		

XI.- DETERMINACIÓN DE MÁXIMAS SOLICITACIONES DE LAS BOYAS.

1.- Aplicación software “OPTIMOOR”.

El software OPTIMOOR, se utilizará para determinar las solicitudes a todos los puntos de amarre, como resultado de las forzantes por efectos de las condiciones previamente definidas de viento, corriente y oleaje.

El software trabaja calculando las fuerzas de desequilibrio (la diferencia entre las fuerzas externas y las reacciones producidas en las líneas de amarre) para una posición determinada de la nave, ajustándola iterativamente hasta que se logra un equilibrio adecuado, en modo Dinámico-Estático y Dinámico-Dinámico.

Asimismo, el módulo de Seakeeping con los parámetros hidrodinámicos de la nave tipo, permitirán conocer los movimientos que sufrirá la nave en sus seis ejes de libertad y si se mantiene dentro de los parámetros de movimientos establecidos por el PIANC. A mayor abundamiento, este módulo, con el empleo de modelos espectrales tales como: Pierson-Moskowitz, Swan o Longuet-Higgins, permite satisfacer los requerimientos especificados por las normativas internacionales y en particular, la nacional vigente como lo es la Circular A-31/002 de agosto de 2023, referida a los Estudios de Maniobrabilidad.

Para hacer un análisis del amarre es necesario definir tres tipos de datos, los correspondientes al buque, al muelle o terminal multiboyas y los particulares del caso que se estén analizando como las condiciones medioambientales (límites operacionales) y la disposición de las espías en un momento dado.

2.- Consideraciones para aplicar Software OPTIMOOR.

Como datos de ingreso al programa se ha considerado una pre-tensión en las amarras de 8 toneladas y se ha ajustado el límite del freno, conforme a los datos entregados para buques similares, en 40 toneladas.

Los movimientos que puede tener un buque se presentan en la Figura siguiente.

Estos movimientos son seis grados de libertad en que se mueve la nave amarrada: tres en plano horizontal y tres en plano vertical.

Tres movimientos son en el plano vertical:

- ✓ Ascenso y descenso, alteo (heave)
- ✓ Rolido (roll)
- ✓ Cabeceo (pitch)

y tres movimientos en el plano horizontal:

- Vaivén (surge)
- Deriva (sway)
- Guiñada (yaw)

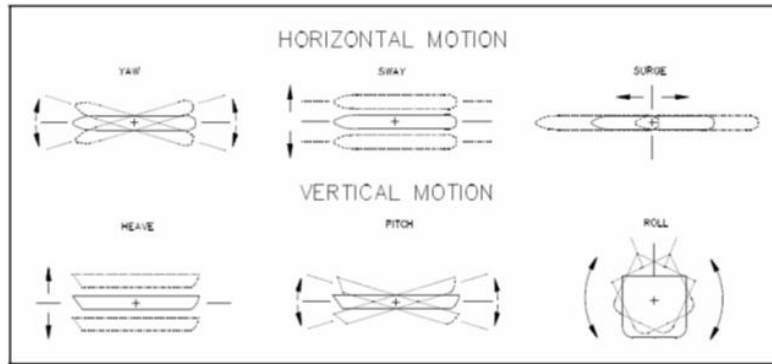


Figura N°35: Movimientos de un buque amarrado.

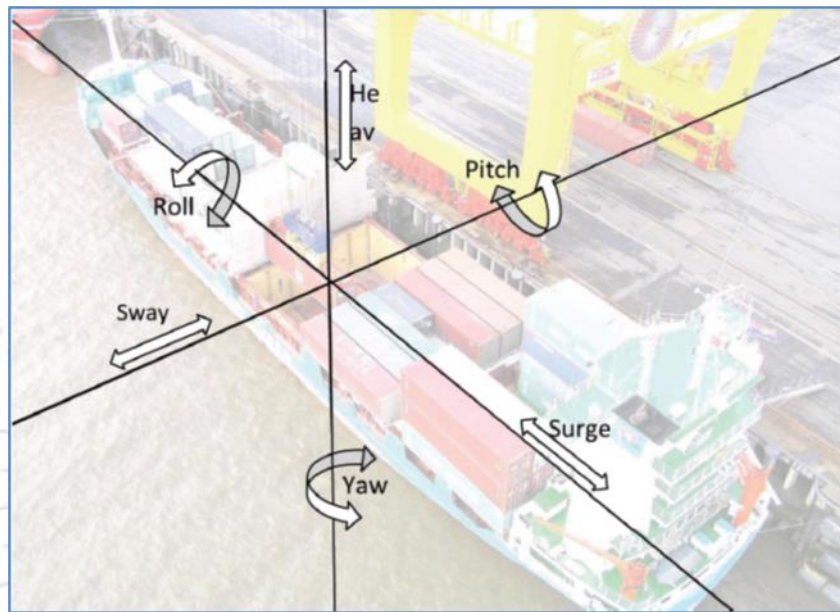


Figura N°36: Movimientos de un buque amarrado.

Para efectos del análisis del presente estudio y para la valorización de los resultados que entrega el programa **OPTIMOOR**, se adoptaron los siguientes valores de referencia para la operación de carga en la nave OT que utiliza chorizo flexible de conexiones al manifold, con un criterio no restrictivo:

Surge (vaivén)	+/-5,0m
Sway (deriva)	+/-7,0m
Heave (alteo)	+/-2,0m

3.- Diagramas y Tablas de resultados simulación.

Para cada corrida de simulación el Software entrega los diagramas y las tablas que se explican a continuación y corresponden a:

- Diagrama de amarre identificando cada punto de amarre ingresado al Software, indicando el punto a bordo de la nave y el punto a Boyas, señalando la fuerza resultante y los vectores de Olas, Corrientes y Viento con dirección e intensidad.
- Fuerzas resultantes, entregando las componentes transversales y longitudinales producto de la ola, corriente y viento.

- Movimientos de la nave, entregando los desplazamientos que sufre la nave en vaivén, deriva y alteo.
- Fuerzas resultantes por cada línea de amarre, entregando la identificación de cada línea de amarre con la nomenclatura del Software y su identificación de cada boya; ajuste de cada línea y su largo; ángulo de la línea en la vertical; tensión de cada línea y % de fuerza por cada línea.
- Fuerzas resultantes por punto de amarre en el plano horizontal, entregando las componentes x e y, la fuerza total horizontal y ángulo en el plano horizontal.
- Período del movimiento en segundos de vaivén, guiñada y deriva a que está afectada la nave.
- El movimiento angular en balance (rolido), cabeceo y guiñada en grados que está afectada la nave.
- El módulo de Seakeeping junto con el modelo hidrodinámico de la nave tipo permite al software OPTIMOOR generar las gráficas de fuerzas máximas en una rosa de maniobras considerando los 360° de afectación sobre la nave amarrada, tales como:
 - Límite de ola máxima.
 - Límite de estado del mar.
 - Límite de viento máximo.

4.- Datos de entrada al Software OPTIMOOR.

Los datos para la simulación del Sistema a considerar son los referidos a condiciones ambientales con sus amarras de abordó y las boyas.

4.1.- Condiciones Ambientales.

Considerando lo expuesto y definido en lFigura N°27 (Tabla N°4) y N°11 del presente estudio, se han establecido las condiciones para ser aplicadas en el Software OPTIMOOR, dado que él cuenta con el módulo de seakeeping incorporando las características de una nave tipo y su comportamiento hidrodinámico. Por lo anterior se establece un valor de ola significativa y una para la ola de swell (mar de fondo). El software realiza la simulación incorporando estas dos variables.

Determinada para las condiciones de las operaciones de faena de carga segura, con nave amarrada de acuerdo al diagrama de espías predefinido para la Nave OT220.

Tabla N°11: Condiciones ambientales para Nave OT220

Condición PARA NAVE TIPO: OT de 220 metros de eslora		
	Dirección	Intensidad
Viento:	Dirección SW	Velocidad: 24 nudos (12,34 m/s)
Corriente:	Dirección SW (Fluye hacia el Nor-Este)	Velocidad: 0,5 nudos (2,572 m/s)
	Dirección NE (Fluye hacia el Sur-West)	Velocidad: 0,5 nudos. (2,572 m/s)
Ola: Significativa	Dirección SW 240°	Altura: 2 m

4.2.- Condición a utilizar en las Corridas de simulación.

Para efectos de las corridas de simulación se empleará la condición extrema para las maniobras de carga para el terminal multiboyas, la cual es la condición definida en punto 4.1. tabla N°11.

4.3.- Condiciones especiales de simulación.

Las corridas de simulación se realizan para el terminal multiboyas de Sica Sica. Se ha considerado la nave OT 220 en su posición de amarre.

4.4.- Datos del Terminal multiboyas Sica Sica.

Berth Data for YPFB (Units in m & tonnes)	
Left to Right of Screen Site Plan Points:	230°
Width of Channel (for Current):	3000
Seabed Depth in way of Ship below Datum:	14.3
Permissible Surge Excursion Fwd/Aft:	± 5.00
Permissible Sway Excursion Port/Stbd:	± 7.00
Permissible Vertical Movement:	± 2.00
Dist of Berth Target to Right of Origin:	5.0
Wind Speed Specified at Height:	10.0
Current Specified at Depth:	mean

Orientación y profundidad del terminal de amarre

Buoy/	X-Dist	Y-Dist	Ht above	Allowable	Top Chain	2nd Chain	3rd Chain
Anchor	Origin	Origin	Seabed	Load	Length	Diam	Length
B	258,0	118,0	0,0	400			
C	-342,0	0,0	16,0	200	18,0	90	110,0
E	235,0	-77,0	0,0	400			90
N	-240,0	-200,0	16,0	200	23,0	90	110,0
S	-240,0	200,0	16,0	200	18,0	90	110,0

Posicionamiento de la boya de amarre

4.5.- Datos de entrada software OPTIMOOR Nave OT220.

Vessel Data for OT220	
Longitudinal datum at Midship	
LBP: 211.5	
Breadth: 38.4	
Depth: 19.2	
Port Target: 0.0 fwd from midship -11.0 from CL and 0.0 above deck	
Stbd Target: 0.0 fwd from midship 11.0 from CL and 0.0 above deck	
End-on projected windage Area: 360 above deck level	
Side projected windage Area: 450 above deck level	
Current drag data based on: OCIMF pre-2018 (Cylindrical Bow)	
Wind drag data based on: OCIMF Tanker (U-shaped Bow)	
Wave motion data based on RAO data for: Break Bulk Lifter	
Roll Damping Coeff: 5% of Critical	
Loaded Cb: 0.79	
Hull Pressure Limit (t/m²): 20	

Flatside Contour	Longitudinal datum at Midship				
X-dist	-71.9	-59.2	42.3	59.2	74.0
Depth	10.6	15.4	15.4	12.9	5.8

Características Nave OT220m

Desplazamiento	89195.00 [Ton]
Deadweight	74996.00 [Ton]
Eslora Total	220.00 [m]
Eslora LPP	211.49 [m]
Manga	38.40 [m]
Puntal	19.20 [m]
Calado Operacional	12.50 [m]
Calado en Liviano	7.05 [m]
Franco Bordo Operacional	6.70 [m]
Franco Bordo Liviano	12.15 [m]

5.- Resultados de Corridas de Simulación Nave OT220.

5.1.- Resultados con posición Nave amarrada con Proa al 230°.

Arreglo para OT220 en terminal YPFB

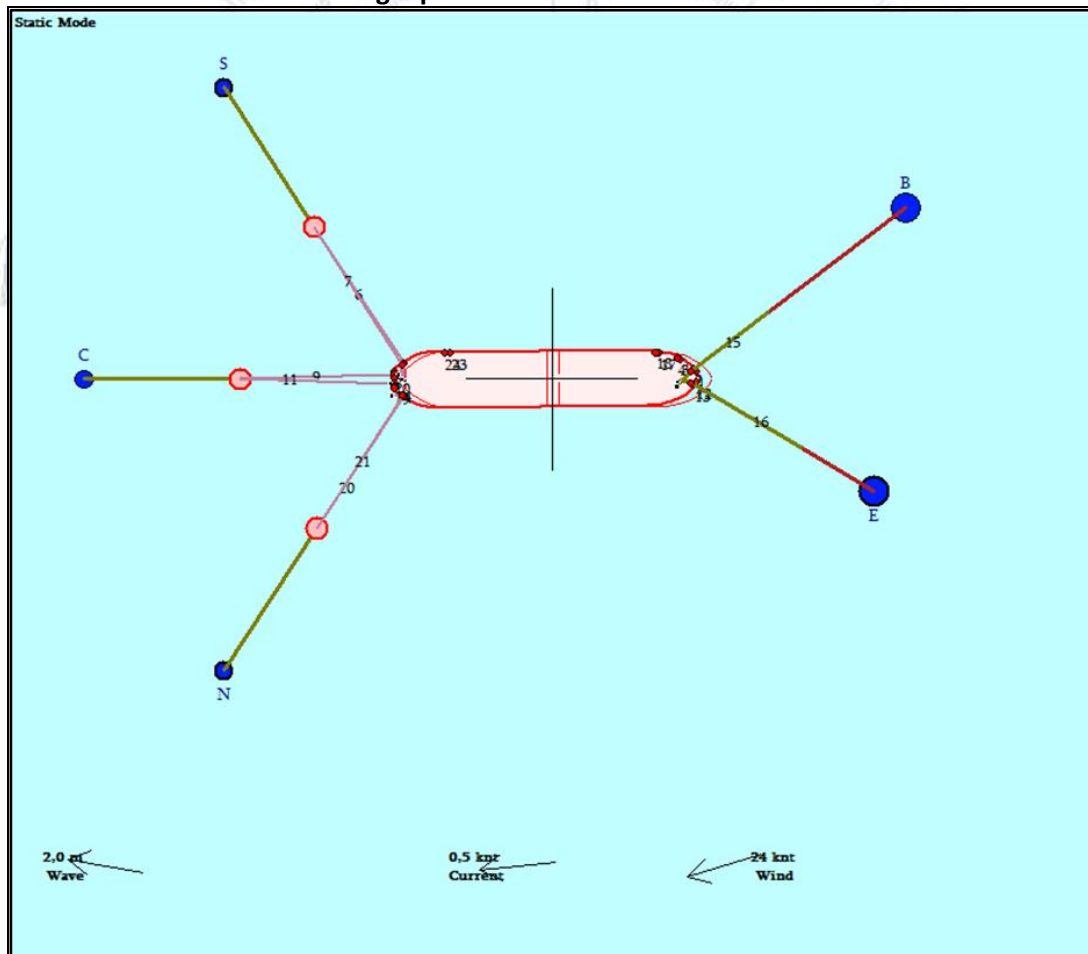


Figura N°37: Diagrama General de amarre con proa al 230°.

La figura N°37 muestra las líneas de amarre a las Boyas, también se visualizan las direcciones e intensidades de las condiciones ambientales ingresadas al programa.

Mooring Response for OT220 at YPFB

Units in m & tonnes
Analysis for Time: 1201 22 ene 2025
Water Level: 0,00 above Datum
Draft: 12,50
Trim: 0,00
GM: 2,0
Bottom Clearance: 0,6
Fwd Offset of Vessel Target: 0,0 from Berth Target
Vessel Port Target: 6,1 above Waterline
Significant Wave Ht: 2,00
Wave Mean Period: 14,0 sec
Wave Direction from: 240°True 10°Screen Right
Wave Spectrum: Pierson-Moskowitz
Current: 0,5 knots
Current Direction from: 225°True -5°Screen Right
Wind Speed: 24 knots
Wind Direction from: 214°True -16°Screen Right
Total End-on Windage Área: 590
Total Side Windage Área: 1733

Datos ambientales ingresados

Longitudinal Transverse Yaw Moment/LBP
Wave Drift Force: 9,2 3,5 1,9
Current Drag Force: 0,2 -1,8 -0,4
Wind Drag Force: 4,8 -2,9 0,0
Total Force: 14,2 -1,3 1,5

Fuerzas resultantes en los ejes longitudinales y transversales

Movement of Vessel -5,96 (aft) 0,11 (port) 0,2°(port) 0,45 (up)
at its Port Target -7,18 (aft) -0,20 (stbd) 0,2°(port) -0,05 (down)

Significant Angles... Roll: 1,1° Pitch: 0,4° Yaw: 0,3°

Significant wave+swell Motions at	X Fwd from CL	Y Stbd from CL	Z Above Deck	Amplitude Surge	Amplitude Sway	Amplitude Heave	Amplitude Comb.	Velocity Surge	Velocity Sway	Velocity Heave	Velocity Comb.	Acceleration Surge	Acceleration Sway	Acceleration Heave	Acceleration Combined
Port Target	0,0	-11,0	0,0	0,82	0,23	0,34	0,84	0,23	0,07	0,13	0,24	0,07	0,02	0,05	0,07
Stbd Target	0,0	11,0	0,0	0,82	0,23	0,45	0,86	0,23	0,07	0,16	0,24	0,07	0,02	0,07	0,08
Position 1	-72,0	19,0	17,0	0,72	0,78	0,93	1,07	0,20	0,27	0,32	0,36	0,06	0,10	0,13	0,14
Position 2	-72,0	-19,0	17,0	0,72	0,78	0,70	0,93	0,20	0,27	0,26	0,32	0,06	0,10	0,11	0,13

Movimientos resultantes del Sistema después de adoptar su posición de equilibrio en el puente y alerón (pos 1 y 2)

Line to Anchor	Pull -in	Tot.Line Length	In-Line ±Motion	Winch Slip	Inclin. Down	Line Tension	Percent Strength
6-S	10,0	114,2	0,87		3°	7,0	6%
7-S	10,0	112,0	0,88		3°	7,4	7%
9-C	10,0	104,8	0,85		3°	0,5	0%
11-C	10,0	104,8	0,86		3°	0,6	1%
15-B	-11,6	210,3	0,74		35°	18,7	17%
16-E	-12,1	169,1	0,92		27°	30,7	27%
20-N	10,0	105,3	0,63		3°	3,9	3%
21-N	10,0	105,1	0,64		3°	4,0	4%

Resultantes por cada línea de amarre, tabla que identifica el punto de amarre a bordo con números y las boyas y anclas con letras, largo de cada línea, ángulo de trabajo, tensión y porcentaje de trabajo.

Buoy/ Anchor	X- Force	Y- Force	Other X-Load	Other Y-Load	Horiz Force	Length on Bottom	Uplift
B	-13,2	9,5			16,3	4%	124
C	1,1				1,1	1%	119
E	-25,2	-14,0			28,8	7%	61
N	4,5	-6,5			7,9	5%	111
S	8,1	11,8			14,3	10%	99

Fuerzas resultantes horizontales, entrega las fuerzas en el eje x – y más la resultante horizontal con su ángulo de trabajo.

Boya Centro = C; Boya Norte = N; Boya Sur = S

5.2.- Análisis de resultados corrida de Simulación.

El resultado indica que el sistema de amarre permite estar en equilibrio después de haber realizado una iteración de las forzantes derivadas de los datos ingresados, lo que determina que la nave tiene el siguiente movimiento:

de surge (vaivén) de 0,82 m
un sway (deriva) de 0,23 m
un heave (alteo) de 0,34 m

Los movimientos angulares son los siguientes:

Rolido 1,1°
Cabeceo 0,4°
Guiñada 0,3°

Las líneas tienen una demanda máxima de 7,4 toneladas, un 7% con las líneas trabajando parejas dentro de su capacidad.

Esto permite determinar que la posición de amarre para la faena de carga sea segura en todo momento para la nave.

Con una ola menor a 2 metros los movimientos de la nave se mantienen dentro de los parámetros establecidos para la realización de faenas.

5.3.- Curvas de vientos máximos para no sobrepasar los límites de movimiento de la nave.

Wind Capability Rose for BT220 at YPFB new

Significant Motions response limits derived from data for Break Bulk Lifter

Analysis for Time: 1200 22 ene 2025

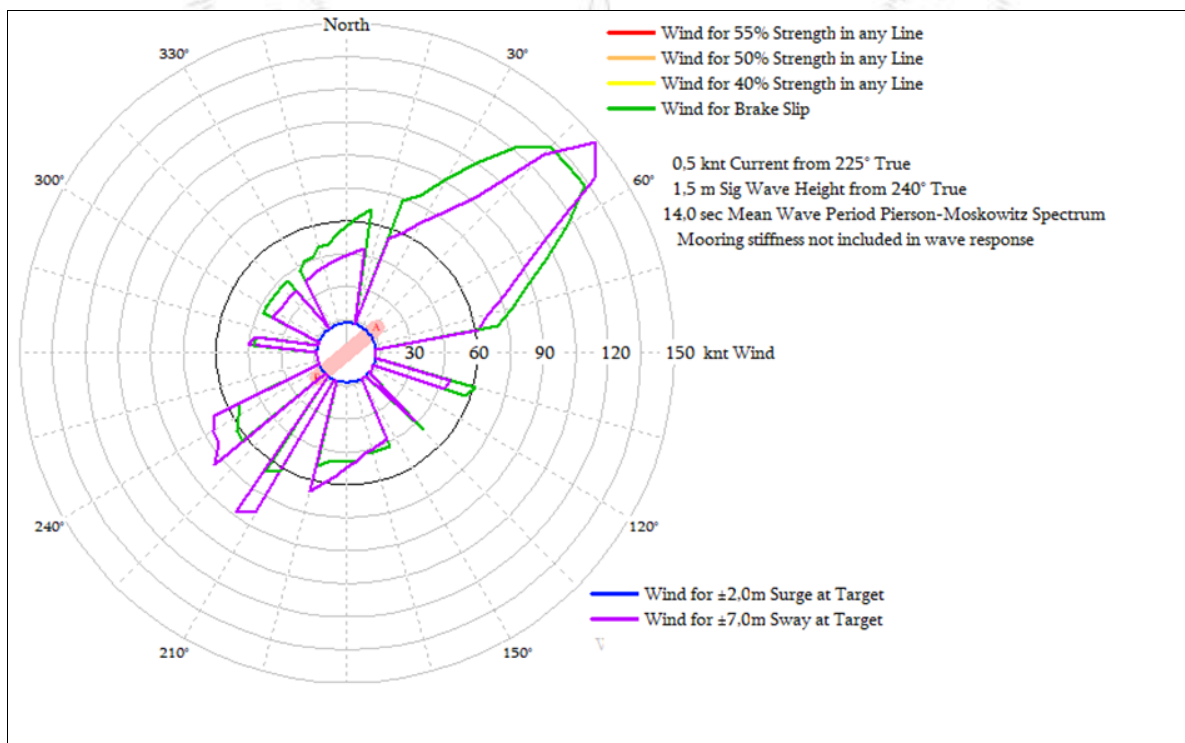
Ref: YPFB

Remarks: YPFB

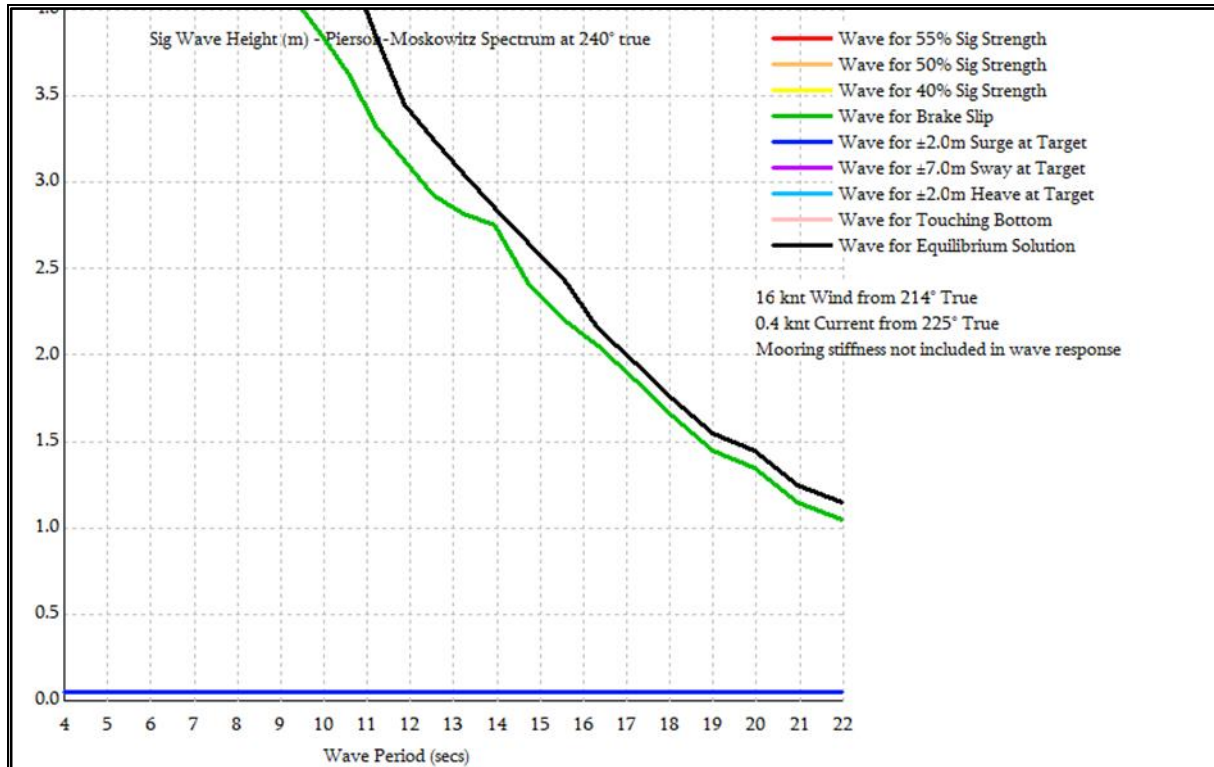
Water Level: 0,00 above datum.

Draft: 12,5

Trim: 0,0



Página 60 de 87



5.6.- Resultados de la simulación.

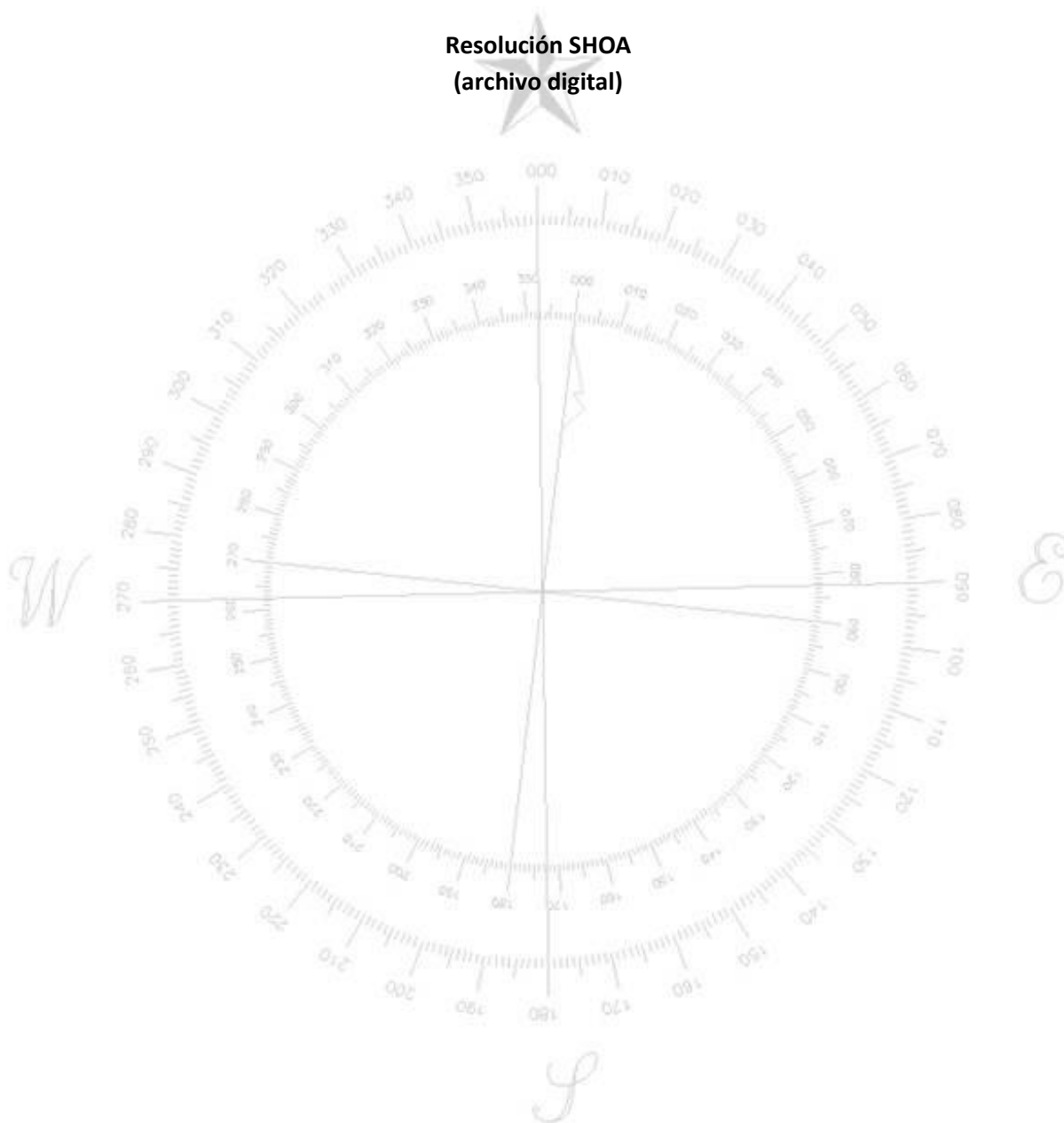
- a.- El resultado de la aplicación del Software OPTIMOOR, indica que el esquema de amarre permite estar en equilibrio después de haber realizado una iteración de las forzantes derivadas de los datos ingresados.
- b.- Las espías trabajan dentro de los parámetros normales en tensión como porcentaje de trabajo.
- c.- El diagrama de amarre es segura para la nave sometida a condiciones ambientales definidas y la posición para la faena de carga es segura en todo momento y condición definida, para 24 o menos nudos de viento.
- d.- Con una ola menor a 2 metros los movimientos de la nave se mantienen dentro de los parámetros establecidos para la realización de faenas.
- e.- El Terminal Multiboyas de Sica Sica permite el amarre seguro y la realización de faenas para la nave OT 220 de eslora, según las normas PIANC con:
 - olas menores a 2 metros permanencia.
 - viento igual o menor a 16 nudos amarre/24 nudos permanencia.
 - corriente de 0,5 nudos,

XII.- CONCLUSIONES.

1. Al aplicar lo señalado en las ROM 3.1-99 y ROM 0.2-90, respecto de las fuerzas medioambientales que afectan una nave y las cargas, se ha calculado una fuerza resultante de 20 toneladas, pero al aplicar la normativa referente a cargas mínimas se debe adoptar una fuerza de 150 para determinar los requerimientos mínimos de anclas y cadenas, lo que significa que se tendría un margen de seguridad adicional al dimensionamiento del sistema de anclas y cadenas calculado.
2. Al determinar el peso mínimo del ancla, según la fuerza asumida y la aplicación de los factores de seguridad que norman este cálculo (BS-6349 Parte 6 de 1989), se obtiene un valor mínimo de 11,5 toneladas para las patas de fuerzas, pero las anclas a instalar son dos de 11,5, es decir, mayores a lo que determina la norma.
3. El cálculo del dimensionamiento del tamaño de la cadena utilizando la fuerza asumida de 150 toneladas y los factores de seguridad correspondientes, dan una carga de ruptura que determina que la medida de cadena adecuada es la de 3 ½" Grado 3 ABS.
4. Al calcular el factor de seguridad con el actual sistema de dimensiones de anclas y cadenas de las Boyas de amarre, se obtienen factores de 2,32-2,32-2,26 con la fuerza teórica de $100 \times 2 = F$ 200 Ton y se obtienen factores de **23,20-23,20-22,58** con la fuerza calculada por ROM 20 Ton. Esto permite estar dentro de la norma y con un amplio margen de seguridad del cálculo real.
5. El resultado de la aplicación del Software OPTIMOOR, indica que el sistema de amarre para la nave tipo OT 220m en su posición de amarre, permite estar en equilibrio después de haber realizado una iteración de las forzantes derivadas de los datos ingresados.
6. Las espías trabajan dentro de los parámetros normales en tensión entre 0,6 a 7,4 toneladas con porcentajes de trabajo de un 1% a un 7% respectivamente, empleando espías de 75 toneladas de MBL
7. Las boyas tienen capacidad de 100 Toneladas por gancho y tienen una demanda máxima de 14.3 toneladas equivalente al 14,3% de su capacidad con las espías trabajando parejas, ello permite tener un amplio margen de seguridad.
8. La operación de la nave en el terminal marítimo de Sica Sica, Compañía YPFB Transporte S.A., Arica, es segura empleando los elementos de amarre existentes, con un calado de 12,5 m y sometida a las forzantes máximas de viento, olas y corrientes establecidas para la operación en el mencionado terminal.

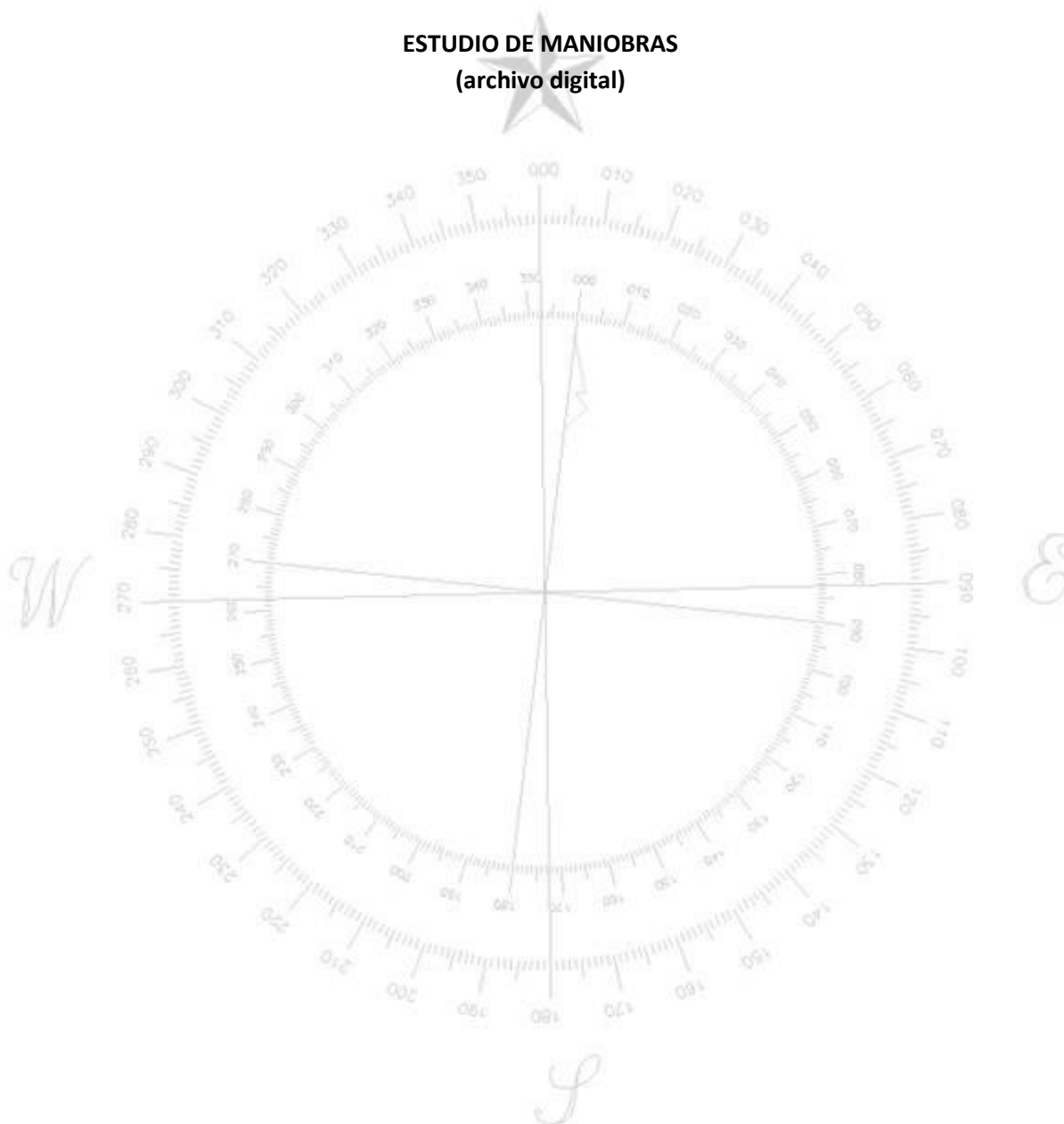
ANEXO "A"

**Resolución SHOA
(archivo digital)**



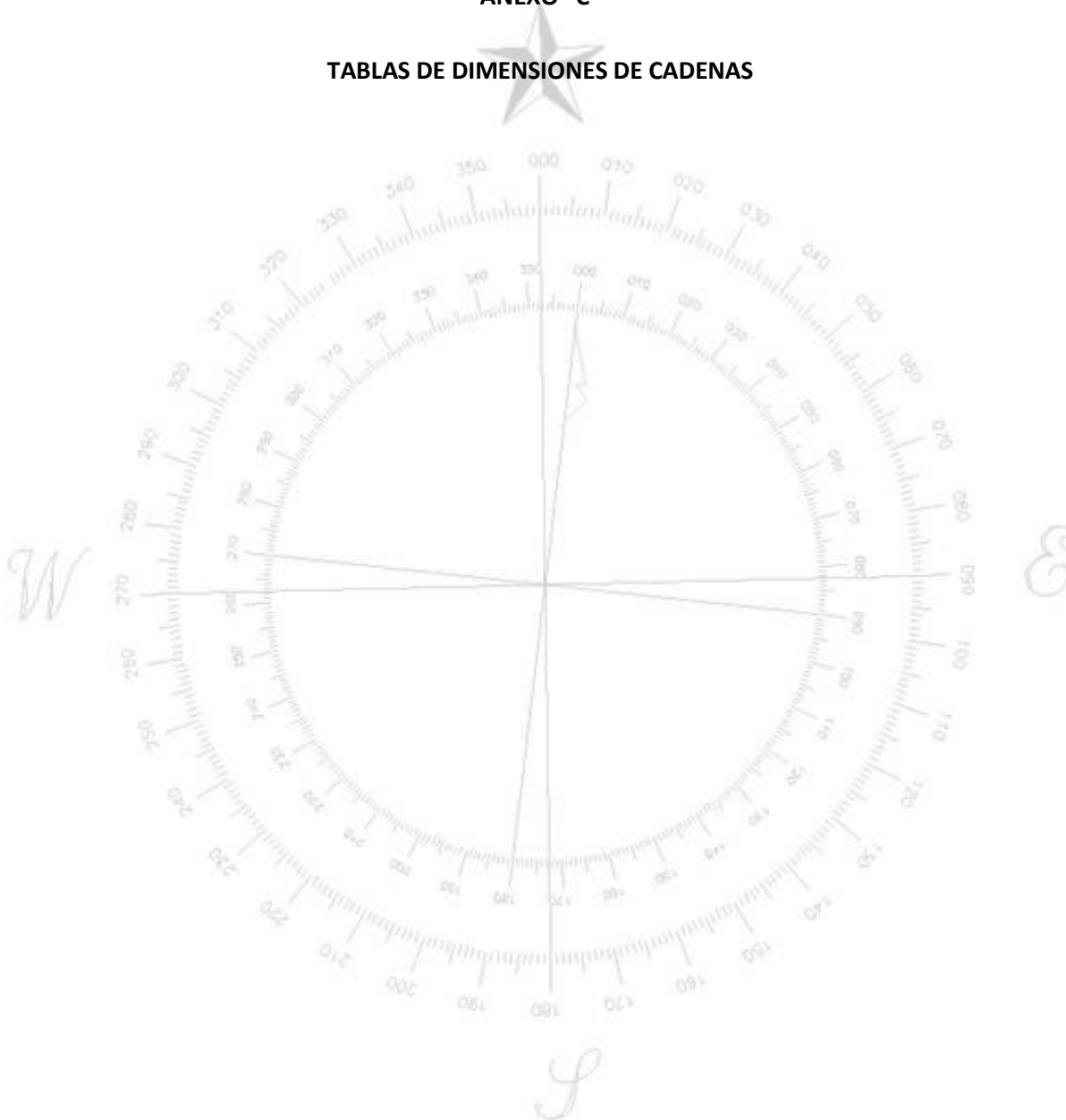
ANEXO "B"

**ESTUDIO DE MANIOBRAS
(archivo digital)**



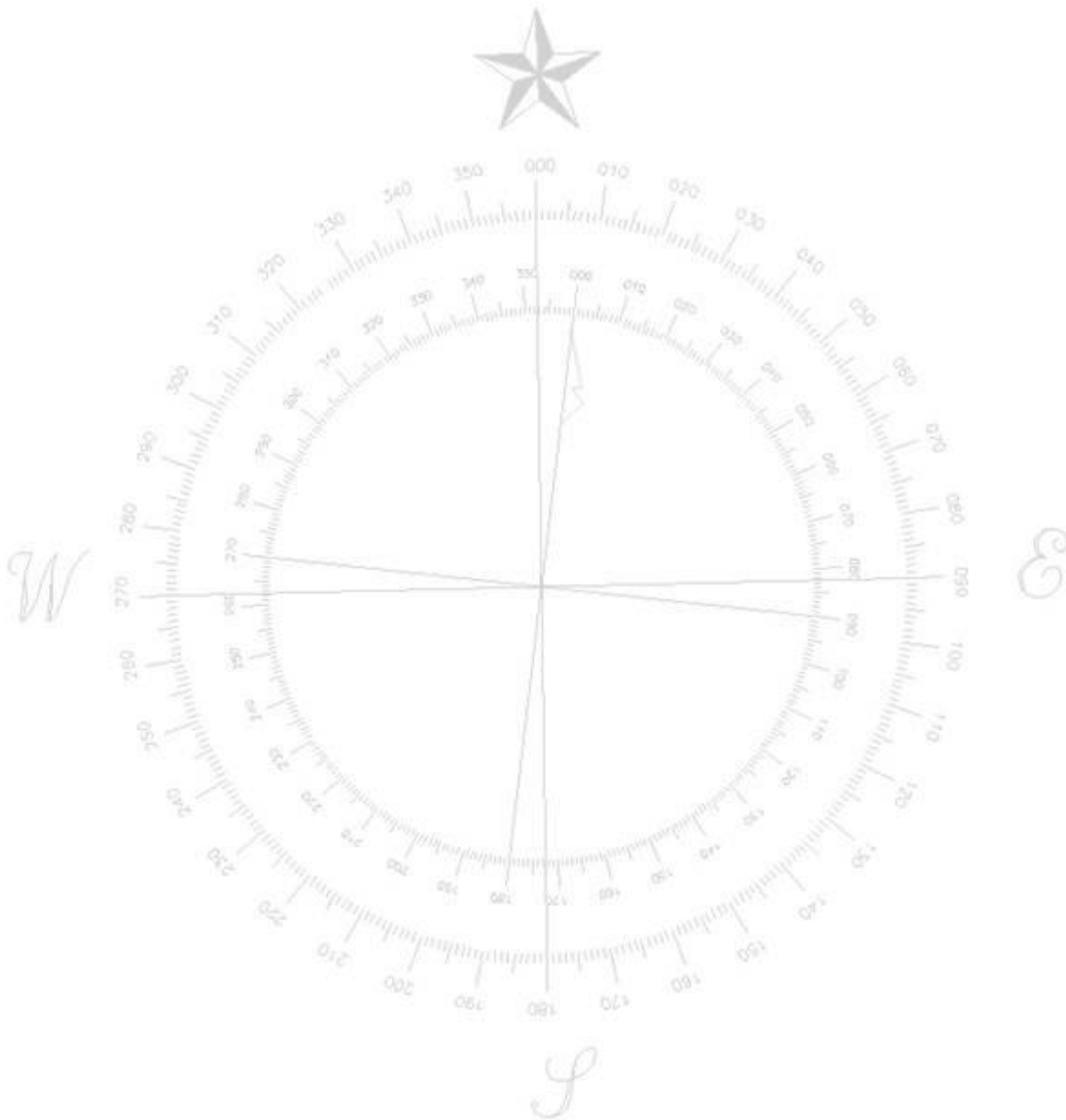
ANEXO "C"

TABLAS DE DIMENSIONES DE CADENAS



Chain Size		Link Dimensions					Grade 2		Grade 3		No. Links
inches	mm	Dim A	Dim B	Dim C	Grip Radius	Weight	Proof Load	Break Load	Proof Load	Break Load	
3/4	19	4-1/2	2-5/8	16-1/2	1/2	480	34000	47600	47600	68000	357
11-3/16	20	4-7/8	2-7/8	17-7/8	1-17/32	570	39800	55700	55700	79500	329
7/8	22	5-1/4	3-1/8	19-1/4	37-64	660	46000	64400	64400	91800	305
15/16	24	5-5/8	3-5/16	20-5/8	5/8	760	52600	73700	73700	105000	285
1	25	6	3-9/16	22	21/32	860	59700	83600	83600	119500	267
1-1/16	27	6-3/8	3-3/4	23-3/8	11/16	970	67200	94100	94100	135000	251
1-1/8	29	6-3/4	4	24-3/4	25/32	1080	75000	105000	105000	150000	237
1-3/16	30	7-1/8	4-1/4	26-1/8	25/32	1220	83400	116500	116500	167000	225
1-1/4	32	7-1/2	4-1/2	27-1/2	25/32	1350	92200	129000	129000	184000	213
1-5/16	33	7-7/8	4-3/4	28-7/8	7/8	1490	101500	142000	142000	203000	203
1-3/8	34	8-1/4	4-15/16	30-1/4	7/8	1630	111000	155000	155000	222000	195
1-7/16	36	8-5/8	5-1/16	31-5/8	15/16	1780	120500	169000	169000	241000	187
1-1/2	38	9	5-3/8	33	63/64	1940	131000	183500	183500	262000	179
1-9/16	40	9-3/8	5-5/8	34-3/8	1-1/32	2090	142000	198500	198500	284000	171
1-5/8	42	9-3/4	5-7/8	35-3/4	1-1/16	2240	153000	214000	214000	306000	165
1-11/16	43	10-1/8	6-1/116	37-1/8	1-3/32	2410	166500	229000	229000	327000	159
1-3/4	44	10-1/2	6-5/16	38-1/2	1-5/32	2590	176000	247000	247000	352000	153
1-13/16	46	10-7/8	6-1/2	39-7/8	1-3/16	2790	188500	264000	264000	377000	147
1-7/8	48	11-1/4	6-3/4	41-1/4	1-1/4	2980	201000	281000	281000	402000	143
1-15/16	50	11-5/8	7	42-5/8	1-9/32	3180	214000	299000	299000	427000	139
2	51	12	7-3/16	44	1-5/16	3360	227000	318000	318000	454000	133
2-1/16	52	12-3/8	7-7/16	45-3/8	1-3/8	3570	241000	337000	337000	482000	129
2-1/8	54	12-3/4	7-5/8	46-3/4	1-27/64	3790	255000	357000	357000	510000	125
2-3/16	56	13-1/8	7-7/8	48-1/8	1-15/32	4020	269000	377000	377000	538000	123
2-1/4	58	13-1/2	8-1/8	49-1/2	1-1/2	4250	284000	396000	396000	570000	119
2-5/16	59	13-7/8	8-5/16	50-7/8	1-17/32	4490	299000	418000	418000	598000	117
2-3/8	60	14-1/4	8-9/16	52-1/4	1-9/16	4730	314000	440000	440000	628000	113
2-7/16	62	14-5/8	8-3/4	53-5/8	1-5/8	4960	330000	462000	462000	660000	111
2-1/2	64	15	9	55	1-5/8	5270	346000	484000	484000	692000	107
2-9/16	66	15-3/8	9-1/4	56-3/8	1-11/16	5540	363000	507000	507000	726000	105
2-5/8	67	15-3/4	9-7/16	57-3/4	1-11/16	5820	379000	530000	530000	758000	103
2-11/16	68	16-1/8	9-11/16	59-1/8	1-3/4	6110	396000	554000	554000	792000	99
2-3/4	70	16-1/2	9-7/8	60-1/2	1-13/16	6410	413000	578000	578000	826000	97
2-13/16	71	16-7/8	10-1/8	61-7/8	1-27/32	6710	431000	603000	603000	861000	95
2-7/8	73	17-1/4	10-3/8	63-1/4	1-7/8	7020	449000	628000	628000	897000	93
2-15/16	75	17-5/8	10-9/16	64-5/8	1-7/8	7330	467000	654000	654000	934000	91
3	76	18	10-13/16	66	2	7650	485000	679000	679000	970000	89
3-1/16	78	18-3/8	11	67-3/8	2	7980	504000	705000	705000	1008000	87
3-1/8	79	18-3/4	11-1/4	68-3/4	2-1/16	8320	523000	732000	732000	1046000	85
3-3/16	81	19-1/8	11-1/2	70-1/8	2-1/16	8660	542000	759000	759000	1084000	85
3-1/4	83	19-1/2	11-11/16	71-1/2	2-1/8	9010	562000	787000	787000	1124000	83
3-5/16	84	19-7/8	11-15/16	72-7/8	2-1/8	9360	582000	814000	814000	1163000	81
3-3/8	86	20-1/4	12-1/8	74-1/4	2-3/16	9730	602000	843000	843000	1204000	79
3-7/16	87	20-5/8	12-3/8	75-5/8	2-3/16	10100	622000	871000	871000	1244000	77
3-12	90	21	12-5/8	77	2-5/16	10500	643000	900000	900000	1285000	77
3-5/8	92	21-3/4	12-15/16	79-3/4	2-5/16	11300	685000	958000	958000	1369000	73
3-3/4	95	22-1/2	13-3/8	82-1/2	2-15/32	12000	728000	1019000	1019000	1455000	71
3-7/8	98	23-1/4	14	85-1/4	2-15/32	12900	772000	1080000	1080000	1543000	69
4	102	24	14-3/8	88	2-5/8	13700	816000	1143000	1143000	1632000	67
4-1/8	105	24-3/4	14-7/8	90-3/4	2-11/16	14600	862000	1207000	1207000	1724000	65

4-1/4	108	25-1/2	15-5/16	93-1/2	2-3/4	15400	908000	1272000	1272000	1817000	63
4-3/8	111	26-1/4	15-3/4	96-1/4	2-7/8	16200	956000	1338000	1338000	1911000	61
4-1/2	114	27	16-1/16	99	2-15/16	17100	1004000	1405000	1405000	2008000	59



ANEXO "D"

FORMULACIÓN ROM 3.1-99, PARTE 4



1.- Formulas ROM

1.1.- Olas

Las fuerzas de las olas actuando sobre la nave, se calculan empleando las siguientes ecuaciones:

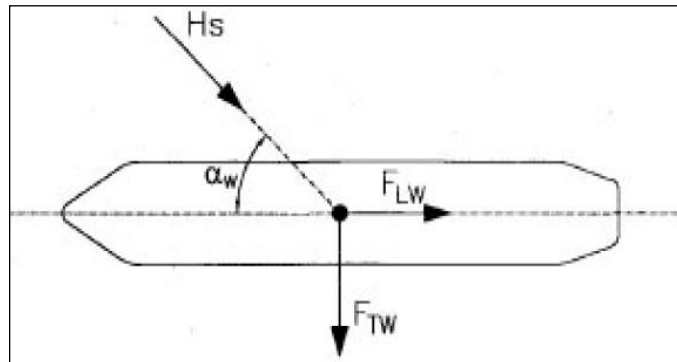


Fig. N°5, Esquema formulación por efectos de las olas

Formulación general

$$FTW = C_{fw} \cdot C_{dw} \cdot \gamma_w \cdot H_s^2 \cdot L_{proy} \cdot \sin \alpha_w$$

$$FLW = C_{fw} \cdot C_{dw} \cdot \gamma_w \cdot H_s^2 \cdot L_{proy} \cdot \cos \alpha_w$$

Siendo:

F_{TW} = Componente en el sentido transversal de la nave de la fuerza resultante, en ton.

F_{LW} = Componente en el sentido longitudinal de la nave de la fuerza resultante, en ton.

γ_w = Peso específico del agua
(1.025 ton/m³ agua salada)
(1.00 ton/m³ agua dulce)

α_w = Ángulo formado entre el eje longitudinal de la nave, considerado de proa a popa y la dirección de incidencia de las olas (de dónde vienen), en grados

C_{fw} = Coeficiente de flotación (adimensional)

C_{dw} = Coeficiente de profundidad (adimensional)

L_{proy} = Longitud de la proyección del buque en la dirección del oleaje incidente, en metros

H_s = Altura de la ola significativa para la dirección determinada y a la profundidad del emplazamiento (H) en metros

1.2.- Corrientes

Las fuerzas de la corriente actuando sobre la nave, se calculan empleando las siguientes ecuaciones:

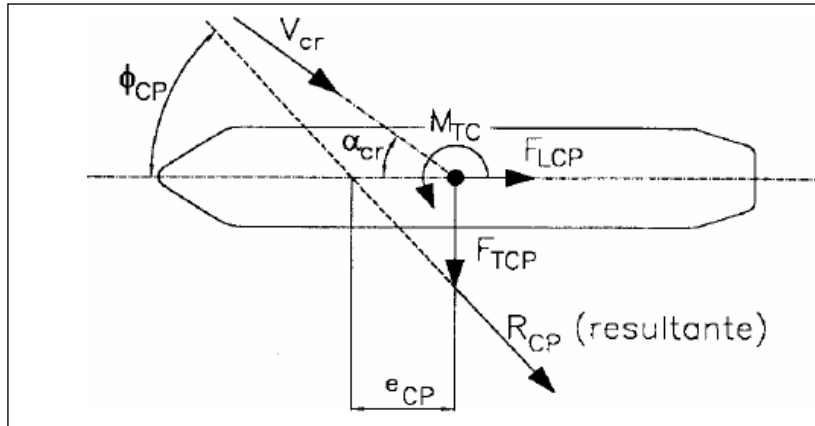


Fig. N°6, Esquema formulación por efecto de las corrientes

Formulación general:

$$R_{CP} = \frac{\gamma_w}{2g} \cdot V_{cr}^2 \cdot \frac{C_{CL} \cdot A_{TC} \cdot \cos^2 \alpha_{cr} + C_{cr} \cdot A_{LC} \cdot \sen^2 \alpha_{cr}}{\cos(\phi_{CP} - \alpha_{cr})}$$

$$\tg \phi_{CP} = \frac{A_{LC}}{A_{TC}} \cdot \tg \alpha_{cr}$$

$$F_{LCP} = R_{CP} \cdot \cos \phi_{CP}$$

$$F_{TCP} = R_{CP} \cdot \sen \phi_{CP}$$

$$M_{TC} = F_{TCP} \cdot e_{cp} = F_{TCP} \cdot K_{ec} \cdot L$$

Siendo:

- R_{CP} = Fuerza resultante horizontal de la acción de las presiones de la corriente sobre la nave en ton.
- Φ_{CP} = Ángulo formado entre el eje longitudinal de la nave, considerado de popa a proa y la dirección de la resultante de presiones de corriente en grados.
- F_{TCP} = Componente en el sentido transversal de la nave de la fuerza resultante, en ton.
- F_{LCP} = Componente en el sentido longitudinal de la nave de la fuerza resultante, en ton.
- M_{TC} = Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad de la nave, en ton. m.
- γ_w = Peso específico del agua:
(1.025 ton/m³ agua salada)
(1.00 ton/m³ agua dulce)
- g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).
- α_{cr} = Ángulo entre el eje longitudinal de la nave, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación de la corriente relativa (de donde viene). en grados.
- V_{cr} = Velocidad relativa de la corriente referida a la nave, en m/s.
- C_{CT} = Factor de forma para el cálculo de la resultante de las presiones de la corriente sobre la nave, actuando en la dirección de su eje transversal (adimensional). Depende de la relación profundidad del agua/calado del buque de proyecto.

- C_{CL} = Factor de forma para el cálculo de la resultante de las presiones de la corriente sobre la nave, actuando en la dirección de su eje longitudinal (adimensional). Depende fundamentalmente de la geometría de la proa del buque. Puede variar entre 0,2 y 0,6. A falta de una determinación más precisa se adoptará el valor 0,2 para proa de bulbo y el valor 0,6 para proa convencional.
- A_{LC} = Área longitudinal sumergida de la nave sometida a la acción de la corriente, en m^2 .
- A_{TC} = Área transversal sumergida de la nave sometida a la acción de la corriente, en m^2 .
- E_{cp} = Excentricidad de la fuerza resultante de las presiones de la corriente sobre la nave con respecto a su centro de gravedad medida a lo largo del plano de crujía.
- K_{cc} = Coeficiente de excentricidad (adimensional)
- L = Eslora de la nave en metros.

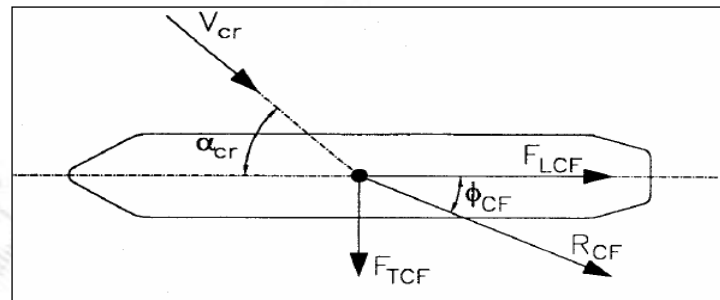


Fig. N°7, Esquema formulación por la fricción de la corriente

Fuerzas de fricción de la corriente sobre las naves:

$$F_{TCF} = \frac{\gamma_w}{2g} \cdot C_r \cdot V_{cr}^2 \cdot A_{TCF} \cdot \sin^2 \alpha_{cr}$$

$$F_{LCF} = \frac{\gamma_w}{2g} \cdot C_r \cdot V_{cr}^2 \cdot A_{LCF} \cos^2 \alpha_{cr}$$

$$\operatorname{tg} \phi_{CF} = \frac{A_{TCF}}{A_{LCF}} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{cr}$$

Siendo:

- R_{CF} = Fuerza resultante horizontal de la acción de la fricción de la corriente sobre la nave en ton.
- Φ_{CF} = Ángulo formado entre el eje longitudinal de la nave, considerado de popa a proa y la dirección de la resultante de fricción de corriente en grados.
- F_{TCF} = Componente en el sentido transversal de la nave de la fuerza resultante, debido a la fricción en ton.
- F_{LCF} = Componente en el sentido longitudinal de la nave de la fuerza resultante, debida a la fricción en ton.
- C_r = Coeficiente de rozamiento (adimensional). Podrá adoptarse 0,004 para naves en servicio y 0,001 para las naves nuevas.
- A_{TCF} = Área de la superficie de la nave mojada transversalmente a la dirección de crujía en m^2 .
- A_{LCF} = Área de la superficie de la nave mojada longitudinalmente a la dirección de crujía, en m^2

1.3.- Viento

Las fuerzas del viento actuando sobre la nave, se calculan usando las siguientes ecuaciones:

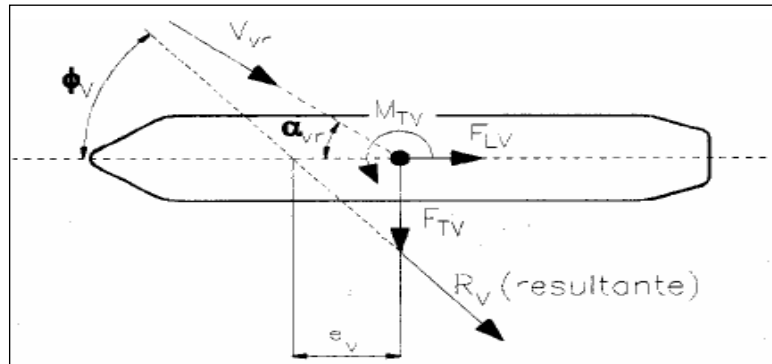


Fig. N°8, Esquema formulación por efectos del viento

$$R_v = \frac{\rho}{2g} \cdot C_{VF} \cdot V_{vr}^2 \left(A_{TV} \cdot \cos^2 \alpha_{vr} + A_{LV} \cdot \sin^2 \alpha_{vr} \right)$$

$$\tan \phi_v = \frac{A_{LV}}{A_{TV}} \cdot \tan \alpha_{vr}$$

$$F_{TV} = R_v \cdot \sin \phi_v$$

$$F_{LV} = R_v \cdot \cos \phi_v$$

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

Siendo:

- R_v = Fuerza resultante horizontal, en ton.
- ϕ_v = Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante en grados.
- F_{TV} = Componente en el sentido transversal de la nave de la fuerza resultante, en ton.
- F_{LV} = Componente en el sentido longitudinal de la nave de la fuerza resultante, en ton.
- M_{TV} = Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad de la nave, en TM (toneladas métricas).
- ρ = Peso específico del aire ($1,225 \cdot 10^{-3} \text{ ton/m}^3$).
- G = Aceleración de gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- C_{VF} = Factor de forma adimensional (nave 1.3)
- α_{vr} = Ángulo entre el eje longitudinal de la nave, considerado de proa a popa, y la dirección de actuación del viento relativo (de donde viene) en grados.
- V_{vr} = Velocidad relativa del viento referida a la nave
- A_{TV} = Área de la proyección transversal a la nave expuesta a la acción del viento, en m^2 .
- A_{LV} = Área de la proyección longitudinal a la nave expuesta a la acción del viento, en m^2 .

2.- Aplicación de las forzantes exteriores.

El sistema de fondeo debe tener la capacidad de resistir los esfuerzos de las condiciones exteriores, para lo cual se aplican los criterios definidos en la publicación ROM 3.1-99 utilizando los valores máximos de las variables velocidad del viento, de la corriente y características del oleaje.

Para la aplicación de la ROM 3.1-99, los valores a considerar de viento, corriente y oleaje ya definidos en el punto 3.1, tabla N°4 de los Criterios de Diseño.

3.- Fuerzas resultantes.

Se determinan los esfuerzos resultantes de las forzantes exteriores sobre el buque tanto en la condición máxima carga como liviano 50% aplicando la formulación definida en la ROM 3.1-99, parte 4, el detalle con el desarrollo se encuentra en el Anexo "E" y cuyo resultado se señala a continuación, punto 3.1.

3.1.- Fuerza combinada resultante

La fuerza combinada resultante es la sumatoria de cada uno de los esfuerzos que ejercen las variables de viento, corriente y oleaje.

Dado que la nave en su condición de amarrado al terminal multiboyas mantiene una sola posición (orientación), es decir no varía su proa, el cálculo de los esfuerzos se realiza con la orientación en la cual esos esfuerzos deben ser contrarrestados con el sistema de amarre.

Así entonces el eje longitudinal de la nave es 230°, el cual es la orientación del terminal multiboyas.

Tabla N°6

Resumen Fuerzas Combinadas de Viento, corrientes y Olas							
220.00		Rb	230.00	Fuerzas Transversales		Fuerzas Longitudinales	
Viento	Corriente		Olas	Cargado	Liviano	Cargado	Liviano
24 nudos	0,5 nudos		Hs=2 m				
N	SW		SW	15.81	25.38	-3.12	-5.83
NE	SW		SW	2.07	3.16	-6.32	-10.07
E	SW		SW	-12.53	-20.25	-3.91	-6.72
SE	SW		SW	-21.91	-36.78	1.18	-0.40
S	NE		SW	-17.14	-26.39	12.07	9.97
SW	NE		SW	-3.14	-3.82	15.55	14.59
W	NE		SW	11.92	20.26	12.92	10.92
NW	NE		SW	20.98	36.33	7.70	4.46

De la tabla N°6, se determina que la fuerza total resultante producida por los parámetros predominantes y de mayor intensidad que se ejerce sobre la nave en carga máxima en su posición de amarre es de $F = 15,55$ Toneladas.

Factor de seguridad 25% a aplicar.

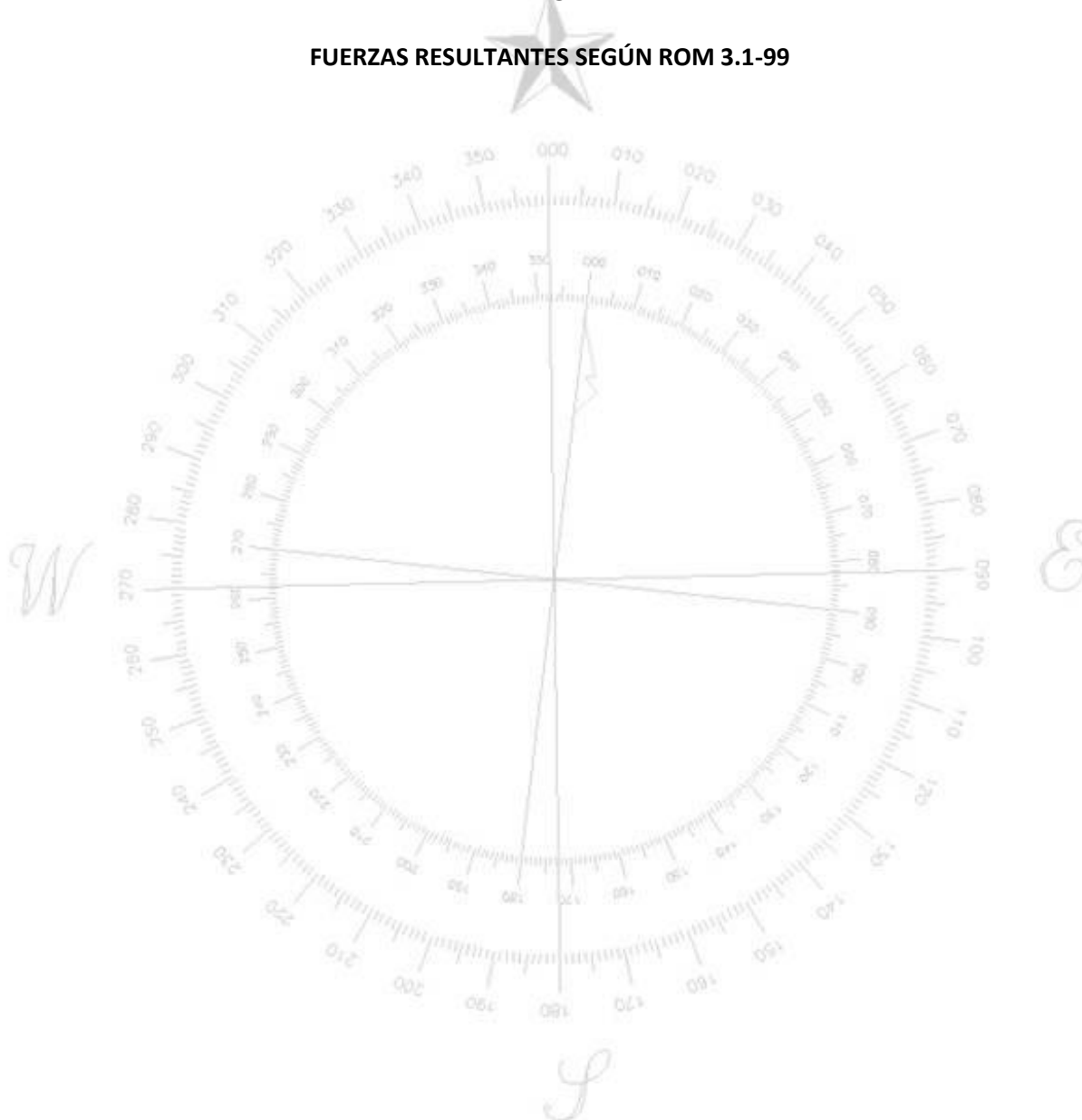
Así entonces la carga sobre la nave es de $F_{Total} = 15,55 + (15,55 \times (25\%))$

$F_{Total} = 15,55 + 3,88 = 19,43$

$F_{Total} = 20$ Toneladas

ANEXO "E"

FUERZAS RESULTANTES SEGÚN ROM 3.1-99



1.- Fuerzas resultantes.

Se determinan los esfuerzos resultantes de las forzantes exteriores sobre el buque tanto en la condición máxima carga como liviano 50% aplicando la formulación definida en la ROM 3.1-99.-

1.1.- Características de la nave para cálculos.

Las características de detalle de la nave para los cálculos son las siguientes:

Tabla N°1

Características de la nave OT220

Desplazamiento	89195.00 [Ton]
Deadweight	74996.00 [Ton]
Eslora Total	220.00 [m]
Eslora LPP	211.49 [m]
Manga	38.40 [m]
Puntal	19.20 [m]
Calado Operacional	13.31 [m]
Calado en Liviano	7.05 [m]
Franco Bordo Operacional	5.89 [m]
Franco Bordo Liviano	12.15 [m]

Área caserío Longitudinal (Lateral)	324.00 [m ²]
Área caserío Transversal (Frontal)	432.00 [m ²]

Área Longitudinal = Eslora * Franco Bordo + Caserío

Área Transversal = Manga * Franco Bordo + Caserío

Condiciones de viento

Área obra muerta longitudinal (lateral) Cargado	1619.80 [m ²]
Área obra muerta longitudinal (lateral) en liviano	2997.00 [m ²]
Área obra muerta transversal (frontal) cargado	658.18 [m ²]
Área obra muerta transversal (frontal) en liviano	898.56 [m ²]

Área Longitudinal = Eslora EPP * Calado

Área Transversal = Manga * Calado

Condiciones de corriente

Área obra viva longitudinal (lateral) cargado	2814.93 [m ²]
Área obra viva longitudinal (lateral) en liviano	1491.00 [m ²]
Área obra viva transversal (frontal) cargado	511.10 [m ²]
Área obra viva transversal (frontal) en liviano	270.72 [m ²]

Área Longitudinal = (Manga + 2 * Calado) * Eslora EPP

Área Transversal = (Eslora EPP + 2 * Calado) * Manga

Superficie mojada en la corriente long (lateral) Cargado	13751.08 [m ²]
Superficie mojada en la corriente trans (frontal) Cargado	9143.42 [m ²]
Superficie mojada en la corriente long (lateral) en liviano	11103.23 [m ²]
Superficie mojada en la corriente trans (frontal) en liviano	8662.66 [m ²]

1.2.- Fuerza resultante por efecto de las Olas

1.2.1.- Olas.

Dirección SW

Tabla N°2

Item	Símbolo	Unidad	Altura
Altura significativa de Oleaje	Hs	m	2.00
Dirección de incidencia del oleaje	α_{wv}	°	225.00
Velocidad de la nave	Vn	knots	0.50
Velocidad de la nave	Vn	m/s	0.26
Rumbo de la Nave	Rumb	°	230.00
Ángulo Entre Eje Longitudinal del Buque y Dirección de incidencia del oleaje	α_w	°	355.00
Eslora entre perpendiculares de la Nave	Lpp	m	211.49
Manga de la Nave	B	m	38.40
Longitud de proyección del buque respecto al oleaje	L _{proy}	m	19.82
Longitud de ola relativa al buque	L _{wr}	m	154.09
Longitud de ola en el proyecto	L _w	m	157.60
Periodo de oleaje	T _w	s	14.00
Periodo de oleaje relativo al buque	T _{wr}	s	13.69
Coeficiente para obtener C _{dw}	$4\pi/L_{wr} * h$	-	1.17
Coeficiente de profundidad	C _{dw}	-	1.831
Peso Específico del Agua de mar	r	Ton/m3	1.03
Aceleración de Gravedad	g	m/s2	9.81

Condición Cargado			
Coeficiente para obtener C _{fw}	$2\pi/L_{wr} * D$	-	0.51
Coeficiente de flotación	C _{fw}	-	0.012
Componente Transversal de Fuerza Resultante	Fcp	Ton	-0.15
Componente Longitudinal de Fuerza Resultante	Fcp	Ton	1.74

Condición Liviana			
Coeficiente para obtener C _{fw}	$2\pi/L_{wr} * D$	-	0.29
Coeficiente de flotación	C _{fw}	-	0.002
Componente Transversal de Fuerza Resultante	Fcp	Ton	-0.03
Componente Longitudinal de Fuerza Resultante	Fcp	Ton	0.34

1.2.2. Corriente.

Dirección NE

Tabla N°3

Ítem	Símbolo	Unidad	Intensidad
Velocidad de la Corriente Verdadera	Vc	Knots	0.50
Velocidad de la Corriente Verdadera	Vc	m/s	0.26
Dirección de la corriente verdadera	α_{cv}	°	225
Velocidad de la nave	Vn	knots	0.50
Velocidad de la nave	Vn	m/s	0.26
Rumbo de la Nave	Rumb	°	230.00
Componente E de la inv de vel del buque	a		-0.20
Componente N de la inv de vel del buque	b		-0.17
Componente E de vel Corriente	c		-0.18
Componente N de vel Corriente	d		-0.18
Ángulo Entre Eje Longitudinal del Buque y Dirección de actuación de la corriente relativa	α_{cr}		-2.50
Ángulo Entre Eje Longitudinal del Buque y Dirección de actuación de la corriente relativa	α_{cr}	°	357.50
Velocidad relativa de la corriente referida al buque	Vcr	knots	1.00
Velocidad relativa de la corriente referida al buque	Vcr	m/s	0.51
Eslora entre perpendiculares de la Nave	L	m	211.49
Factor de forma Proa	C _{CL}	-	0.60
Coeficiente de Rozamiento	Cr	-	0.004
Peso Específico del Agua de mar	r	Ton/m ³	1.03
Aceleración de Gravedad	g	m/s ²	9.81
Condición Cargado			
Ángulo Entre Eje Longitudinal del Buque y Dirección de actuación de la Corriente absoluta	Φ_{cp}	°	346.48
Factor de forma transversal	C _{CT}	-	5.49
Coeficiente de excentricidad	K _{ec}	-	0.04
Fuerza Resultante	R_{cp}	Ton	4.74
Componente Transversal de Fuerza Resultante	F_{cp}	Ton	-1.11
Componente Longitudinal de Fuerza Resultante	F_{cp}	Ton	4.61
Momento Resultante Sobre Eje Vertical	M_{cp}	Ton*m	-8.24
Fuerza de Fricción Transversal	F _{TCF}	Ton	0.00
Fuerza de Fricción Longitudinal	F _{LCF}	Ton	0.76
Condición Liviana			
Ángulo Entre Eje Longitudinal del Buque y Dirección de actuación de la Corriente absoluta	Φ_{cp}	°	346.48
Factor de forma transversal	C _{CT}	-	2.19
Coeficiente de excentricidad	K _{ec}	-	0.04
Fuerza Resultante en T	R_{cp}	Ton	2.38
Componente Transversal de Fuerza Resultante	F_{cp}	Ton	-0.56
Componente Longitudinal de Fuerza Resultante	F_{cp}	Ton	2.31
Momento Resultante Sobre Eje Vertical	M_{cp}	Ton*m	-4.14
Fuerza de Fricción Transversal	F _{TCF}	Ton	0.00
Fuerza de Fricción Longitudinal	F _{LCF}	Ton	0.61

1.2.3.- Vientos.

Dirección SW.

Tabla N°4

Ítem	Símbolo	Unidad	Intensidad	
Velocidad del Viento Verdadero	Vv	Knots	14.00	24.00
Velocidad del Viento Verdadero	Vv	m/s	7.20	12.35
Dirección del viento verdadero	α_{vv}	°	225°	225
Velocidad de la nave	Vn	knots	0.50	0.50
Velocidad de la nave	Vn	m/s	0.26	0.26
Rumbo de la Nave	Rumb	°	230.00	230.00
Componente E de la inv de vel del buque	a		-0.20	-0.20
Componente N de la inv de vel del buque	b		-0.17	-0.17
Componente E de vel viento	c		-5.09	-8.73
Componente N de vel viento	d		-5.09	-8.73
Ángulo Entre Eje Longitudinal del Buque y Dirección de actuación del viento relativo	α_{vr}		-4.83	-4.90
Ángulo Entre Eje Longitudinal del Buque y Dirección de actuación del viento relativo	α_{vr}	°	355.17	355.10
Velocidad relativa del viento referida al buque	Vvr	knots	14.50	24.50
Velocidad relativa del viento referida al buque	Vvr	m/s	7.46	12.60
Eslora Total de la Nave	L	m	220.00	220.00
Factor de Forma (Adimensional 1-1.3)	Cvf	-	1.30	1.30
Peso Específico del Aire	r	Ton/m ³	1.23E-03	1.23E-03
Aceleración de Gravedad	g	m/s ²	9.81	9.81
Condición Cargado				
Ángulo Entre Eje Longitudinal del Buque y Dirección de actuación del viento absoluto	Φv	°	348.26	348.09
Coeficiente de excentricidad con super estructura a popa	Kev	-	-0.02	-0.16
Fuerza Resultante	Rv	Ton	3.00	8.58
Componente Transversal de Fuerza Resultante	Ftv	Ton	-0.61	-1.77
Componente Longitudinal de Fuerza Resultante	Flv	Ton	2.94	8.39
Momento Resultante Sobre Eje Vertical	Mtv	Ton*m	2.10	62.29
Condición Liviana				
Ángulo Entre Eje Longitudinal del Buque y Dirección de actuación del viento absoluto	Φv	°	344.27	344.05
Coeficiente de excentricidad con super estructura a popa	Kev	-	0.04	0.05
Fuerza Resultante en T	Rv	Ton	4.12	11.78
Componente Transversal de Fuerza Resultante	Ftv	Ton	-1.12	-3.24
Componente Longitudinal de Fuerza Resultante	Flv	Ton	3.97	11.33
Momento Resultante Sobre Eje Vertical	Mtv	Ton*m	-11.01	-32.76

1.5.- Fuerza combinada resultante

La fuerza combinada resultante es la sumatoria de cada uno de los esfuerzos que ejercen las variables de viento, corriente y oleaje.

Dado que la nave en su condición de amarrado al terminal multiboyas mantiene una sola posición (orientación), es decir no varía su proa, el cálculo de los esfuerzos se realiza con la orientación en la cual esos esfuerzos deben ser contrarrestados con el sistema de amarre.

Así entonces el eje longitudinal de la nave es 230°, el cual es la orientación del terminal multiboyas.

Tabla N°5

Resumen Fuerzas Combinadas de Viento, corrientes y Olas							
220.00	Rb		230.00	Fuerzas Transversales		Fuerzas Longitudinales	
Viento	Corriente		Olas	Cargado	Liviano	Cargado	Liviano
24 nudos	0,5 nudos		Hs=2 m				
N	SW		SW	15.81	25.38	-3.12	-5.83
NE	SW		SW	2.07	3.16	-6.32	-10.07
E	SW		SW	-12.53	-20.25	-3.91	-6.72
SE	SW		SW	-21.91	-36.78	1.18	-0.40
S	NE		SW	-17.14	-26.39	12.07	9.97
SW	NE		SW	-3.14	-3.82	15.55	14.59
W	NE		SW	11.92	20.26	12.92	10.92
NW	NE		SW	20.98	36.33	7.70	4.46

De la tabla N°5, se determina que la fuerza total resultante producida por los parámetros predominantes y de mayor intensidad que se ejerce sobre la nave en carga máxima en su posición de amarre es de $F = 15,55$ Toneladas.

Factor de seguridad 25% a aplicar.

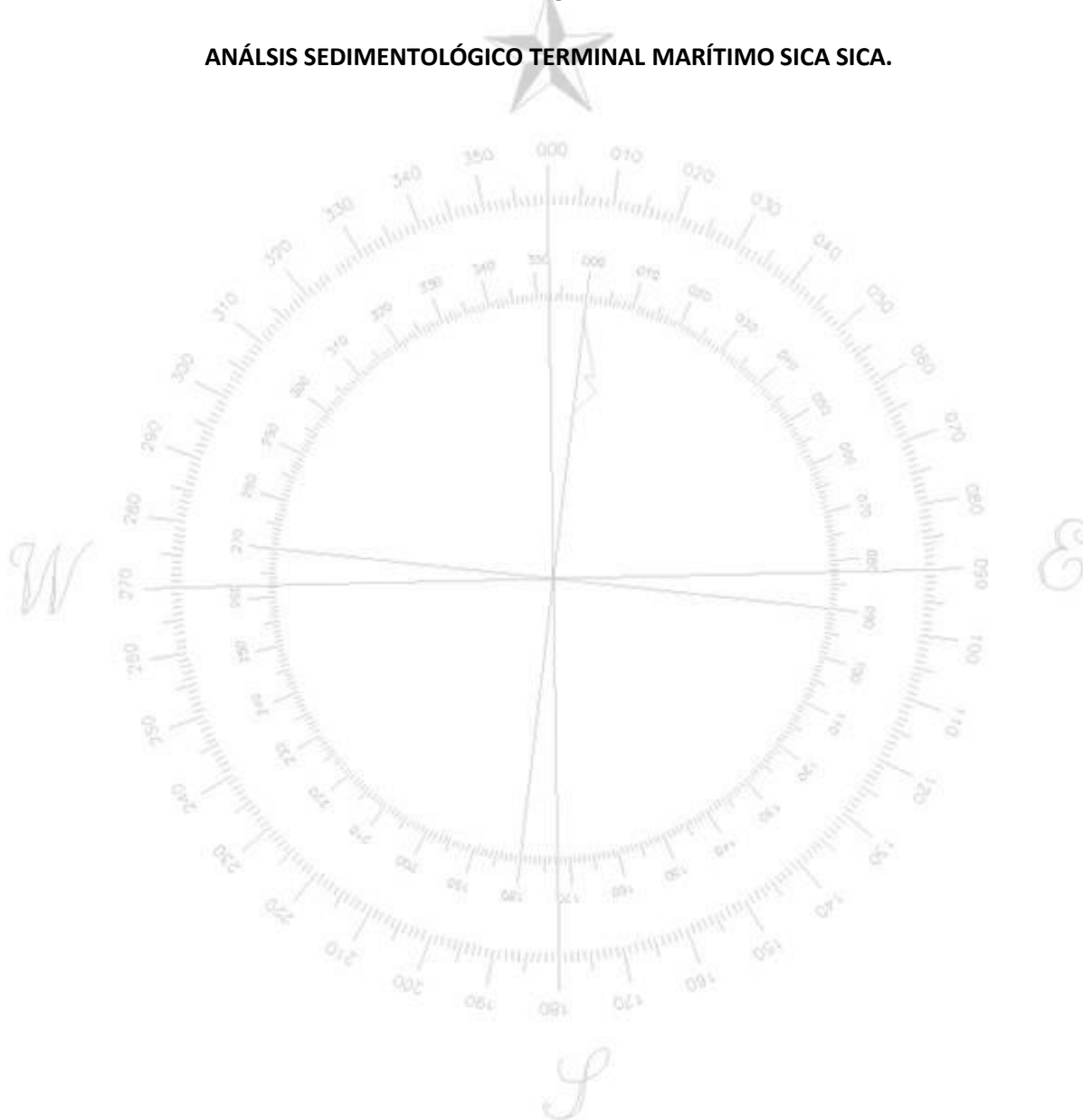
Así entonces la carga sobre la nave es de **$FTotal = 15,55 + (15,55 \times (25\%))$**

$FTotal = 15,55 + 3,88 = 19,43$ Toneladas

$FTotal = 20$ Toneladas

ANEXO "F"

ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO TERMINAL MARÍTIMO SICA SICA.

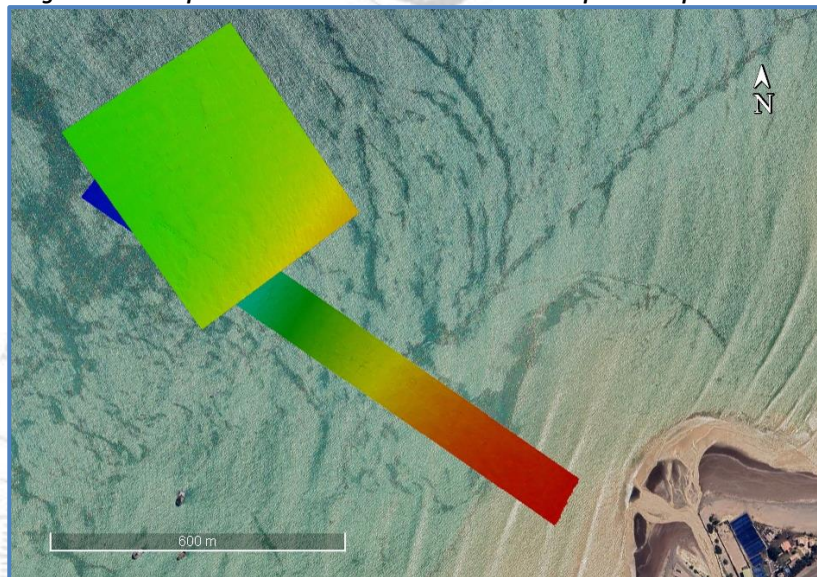


Antecedentes.

El año 2006 y 2024 se realizaron Estudios Sedimentológicos, los cuales fueron aprobados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, para el sector del terminal (Fig1).

En enero de 2025, se llevó a cabo un muestreo de sedimentos utilizando medios mecánicos y neumáticos ejecutados por equipos de buceo, realizando penetraciones de hasta 5 metros bajo la superficie del suelo marino sobre los puntos propuestos para el fondeo de Anclas.

Figura 1. Áreas que cubren los Estudios de Sedimentos Aprobados por el SHOA.



Objetivo.

El presente tiene por objetivo detallar la calidad del suelo marino en el área definida para el fondeo de anclas para el nuevo sistema de boyas de amarre del Terminal Marítimo Sica Sica y aportar una conclusión de tipificación de los sedimentos presentes en el suelo y subsuelo marino, a fin de confirmar la consistencia del fondeo en su conjunto.

Marco del Análisis

Los análisis de los sedimentos superficiales, se enmarcan en la interpretación de los estudios de sedimentos aprobados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada en los años 2006 y 2024 y las observaciones realizadas In-situ, utilizando medios mecánicos y equipos de buceo en enero de 2025.

Análisis del Tipo de Fondo.

Los análisis granulométricos realizados en ambos estudios aprobados, tienen un alto grado de concordancia en sus resultados, si bien los estudios corresponden a sectores distintos, ambos son colindantes y se traslapan con el área propuesta para el fondeo de las anclas del nuevo proyecto de boyas de amarre. (Figura 1).

En ambos estudios se concluye que los aportes sedimentarios estacionales del río San José contribuyen de manera importante a la dinámica sedimentaria del sector, aportando limos, fangos y arenas finas los cuales se distribuyen por todo el sector de interés.

En los muestreos realizados en enero de 2025 empleando medios mecánicos y neumáticos (Lanzas de agua a presión con buzos), se pretendía determinar la naturaleza de las capas de sedimentos bajo el suelo marino hasta una profundidad de 5 metros, eligiendo como posiciones de interés, aquellas determinadas para el fondeo de cada una de las anclas de fuerza y retenidas de cada boya, logrando inclusive obtener las profundidades de rechazo que indica una capa de estratos más dura y compacta que puede ser arena y/o conchuela muy compactada, piedra o roca basal.

Se pudo constatar que entre el Estudio del año 2006 y el muestreo con Lanzas de Agua realizado en enero de 2025, hubo aproximación posicional de 5 puntos cuyos resultados sedimentológicos tienen un alto grado de concordancia, para las facciones de arena y limo. (Ver Figura 2).

Conclusión

Finalmente se puede concluir con un alto grado de certeza, que toda el área de fondeo tiene una predominancia de arenas, arenas finas y fango, lo cual permitirá que las anclas se asienten de buena forma sobre el lecho marino.

Del mismo modo, el estudio de Lanzas de agua realizado, determinó que las capas sedimentarias más finas en los puntos del sector norte, tienen un promedio de 1 a 1,5 metros, desde la superficie del lecho marino, encontrando gravas y estrato compacto alrededor de los 3 metros, mientras que los puntos observados del sector sur las capas de sedimento fino supera los 5 metros de profundidad.

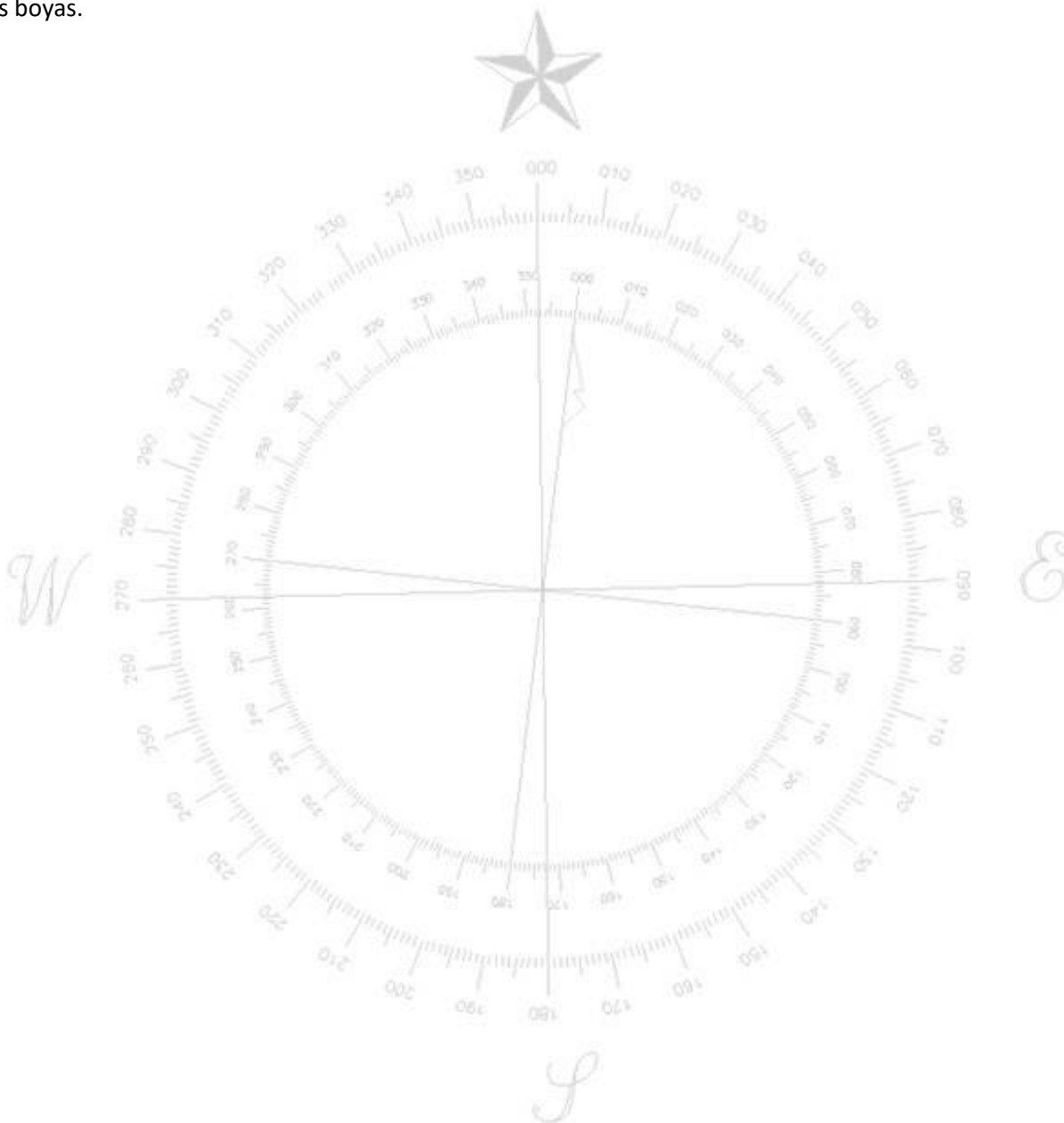
Figura 2. Gráfica de los puntos de fondeo, Lanzas de Agua Versus Estudios de Sedimentos Aprobados por el SHOA.



La figura esta extraída del plano del sector y muestra los puntos donde se tomaron las muestras en las tres campañas conforme a los colores. En lo referido a la campaña de enero de 2025, las letras identifican las posiciones de cada una de las anclas y puntos donde se realizaron las lanzas de agua en color rojo, conforme a lo siguiente.

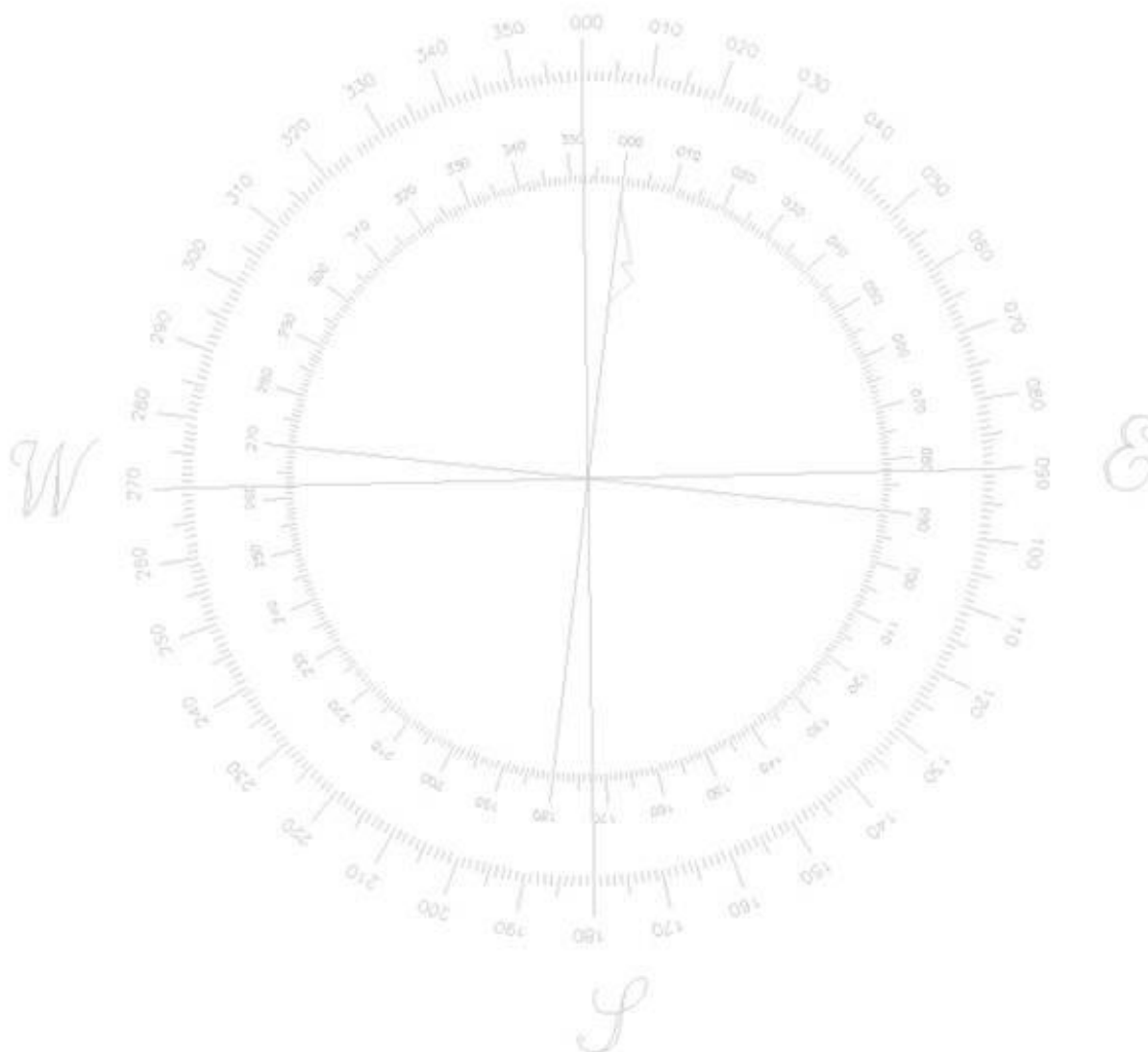
RN – RC – RS: Anclas de las Retenidas de cada una de las boyas, Norte, Centro y Sur.

N1 y N2 – C1 y C2 – S1 y S2: Posiciones de cada una de las anclas de las patas de fuerza de cada una de las boyas.



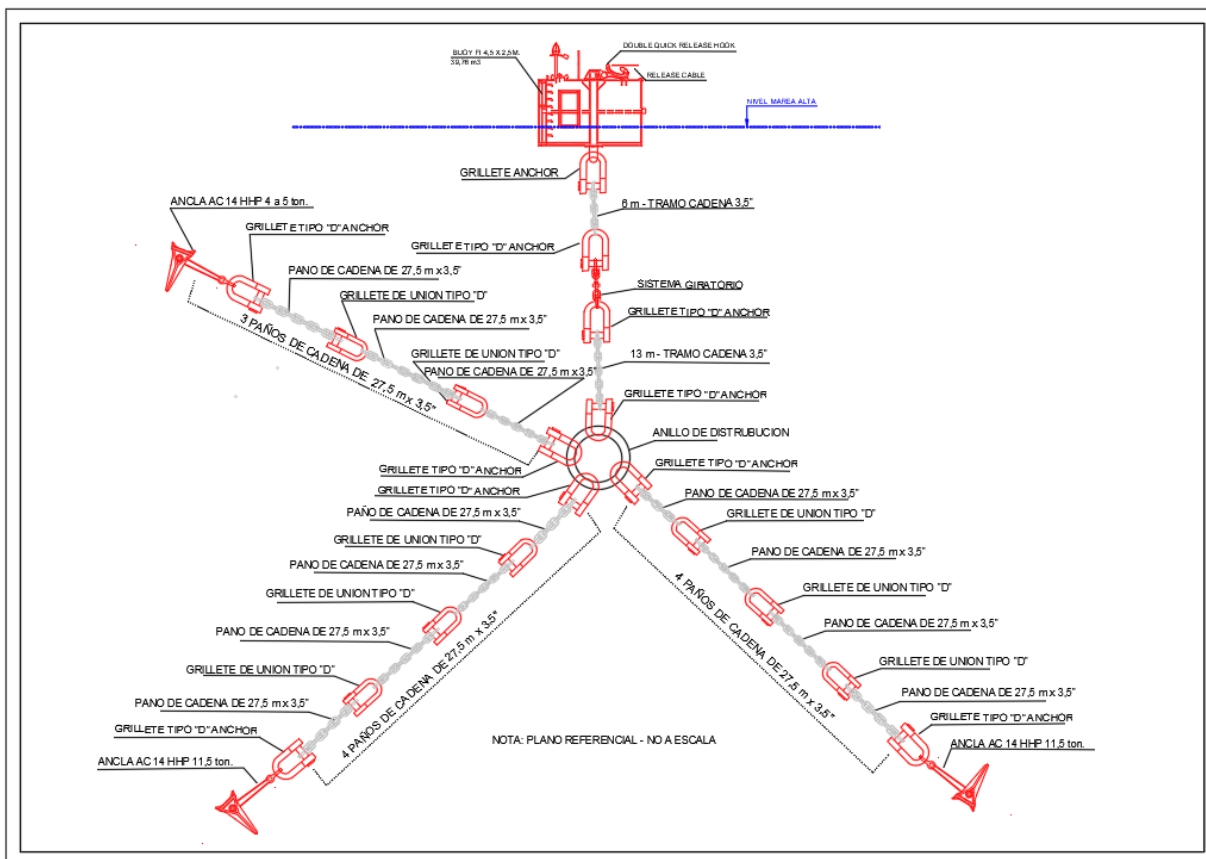
ANEXO "G"

PLANOS



1.- PLANO ESQUEMA ELEMENTOS DE CADA BOYA

PLANO REFERENCIAL – NO A ESCALA



	COORDENADAS UTM		COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	UTM ESTE	LATITUD	LATITUD	LONGITUD
BOYA NORTE	950.341.507	70° 19' 27.5688"	70° 19' 21.7779"	
BOYA CENTRO	950.341.506	70° 19' 27.5688"	70° 19' 19.7104"	
BOYA SUR	950.295.971	70° 19' 27.4879"	70° 19' 18.7304"	
ANCLA NOR	950.652.790	70° 19' 27.4316"	70° 19' 18.0867"	
ANCLA RC	950.652.775	70° 19' 27.6377"	70° 19' 18.0869"	
ANCLA IS	950.620.352	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.1522"	
ANCLA N	950.620.353	70° 19' 27.4386"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA E	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S1	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S2	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S3	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S4	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S5	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S6	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S7	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S8	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S9	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S10	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S11	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S12	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S13	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S14	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S15	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S16	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S17	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S18	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S19	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S20	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S21	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S22	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S23	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S24	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S25	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S26	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S27	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S28	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S29	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S30	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S31	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S32	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S33	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S34	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S35	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S36	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S37	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S38	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S39	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S40	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S41	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S42	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S43	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S44	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S45	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S46	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S47	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S48	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S49	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S50	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S51	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S52	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S53	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S54	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S55	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S56	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S57	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S58	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S59	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S60	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S61	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S62	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S63	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S64	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S65	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S66	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S67	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S68	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S69	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S70	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S71	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S72	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S73	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S74	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S75	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S76	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S77	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S78	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S79	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S80	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S81	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S82	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S83	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S84	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S85	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S86	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S87	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S88	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S89	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S90	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S91	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S92	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S93	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S94	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S95	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S96	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S97	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S98	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S99	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	
ANCLA S100	950.461.589	70° 19' 27.4141"	70° 19' 18.230485"	

