



**Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico**

**DISEÑO DE UN TERMINAL MARÍTIMO MULTIBOYA
PARA TRANSFERENCIA DE PETROLEO EN
CORONEL, REGIÓN DEL BIOBÍO CHILE**

Autor: Javier Herrera Vicenzot
Comisión evaluadora: Patricio Winckler
Matías Carvajal
Jorge Rojas

CONTENIDOS

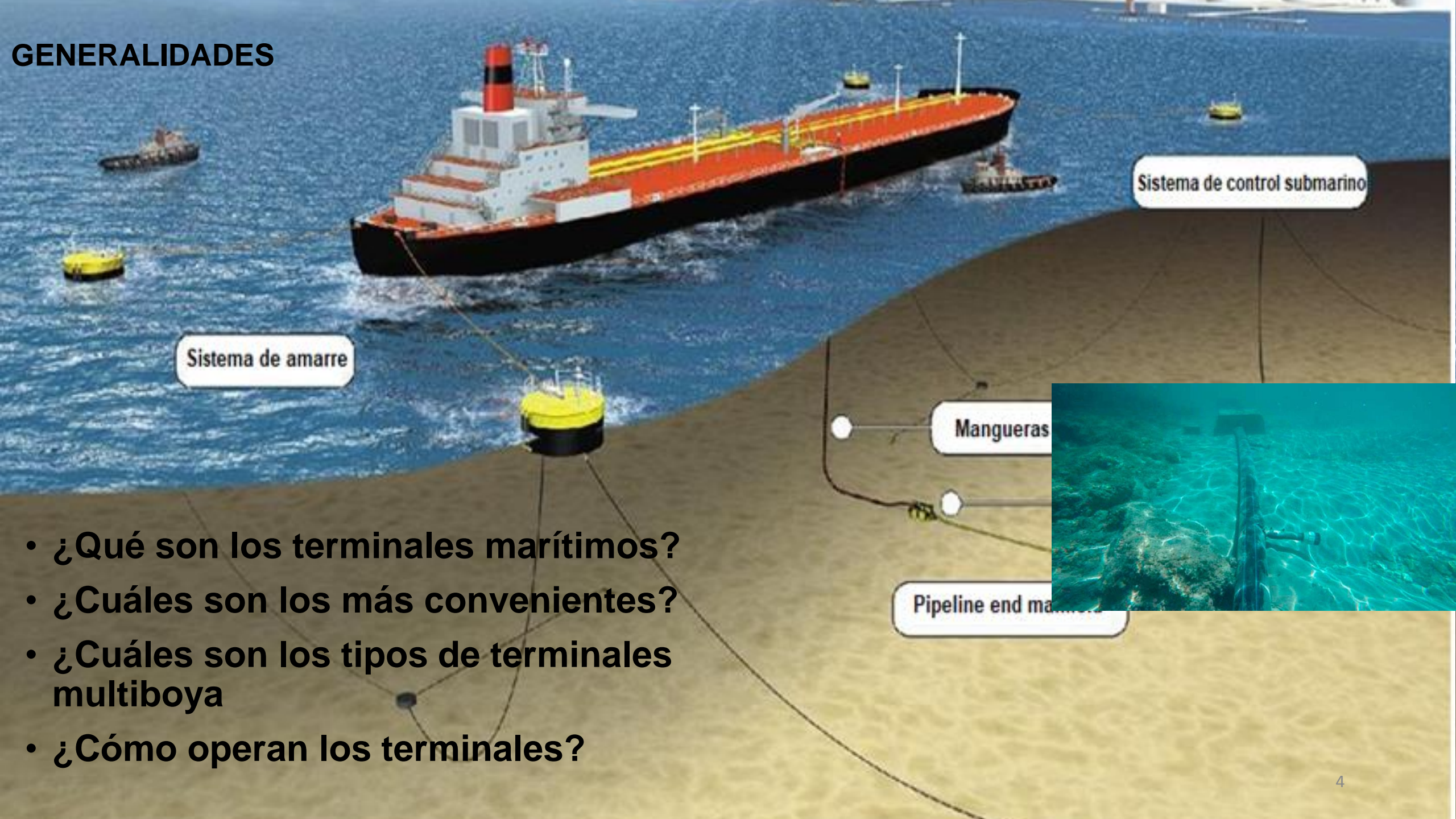
1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS
3. METODOLOGÍA
4. RESULTADOS
5. CONCLUSIONES



1. INTRODUCCIÓN

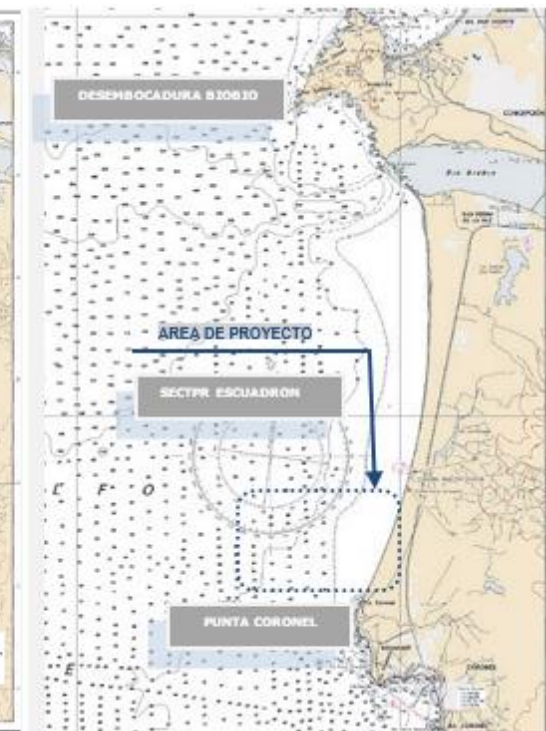
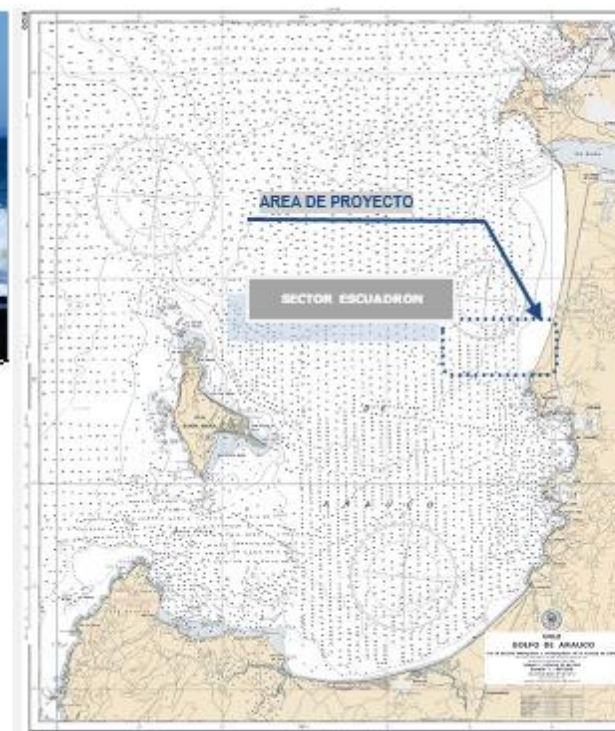


GENERALIDADES



- ¿Qué son los terminales marítimos?
- ¿Cuáles son los más convenientes?
- ¿Cuáles son los tipos de terminales multiboya
- ¿Cómo operan los terminales?

El proyecto está ubicado en la playa El Escuadrón, Coronel, región del BioBío.



2. OBJETIVOS GENERALES

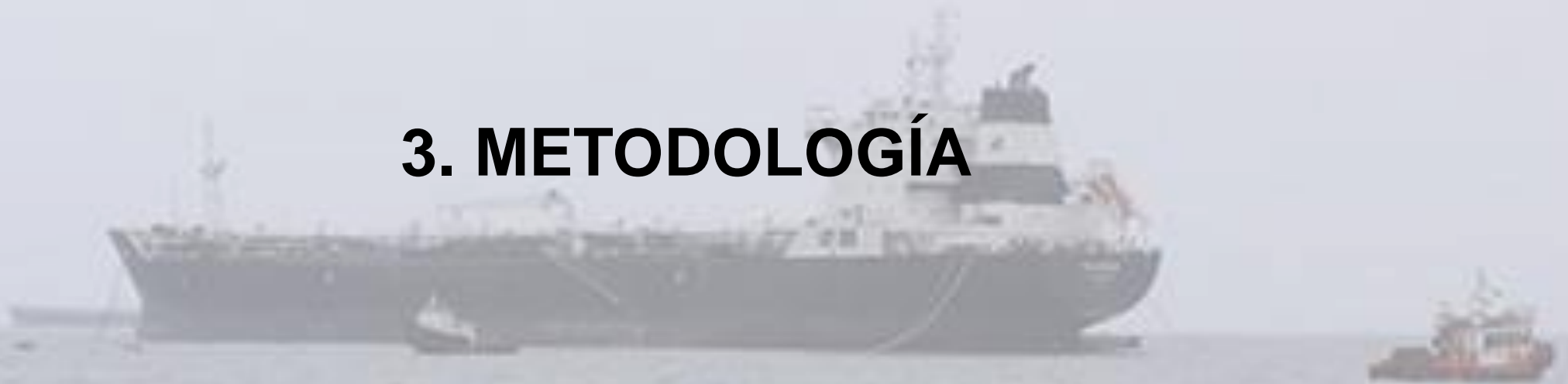
- Diseñar un sistema de amarre multiboya que permita la operatividad de naves Oil Tanker.
- Diseñar un sistema de transferencia para descarga de petróleo mediante cañerías submarinas ancladas al fondo marino.



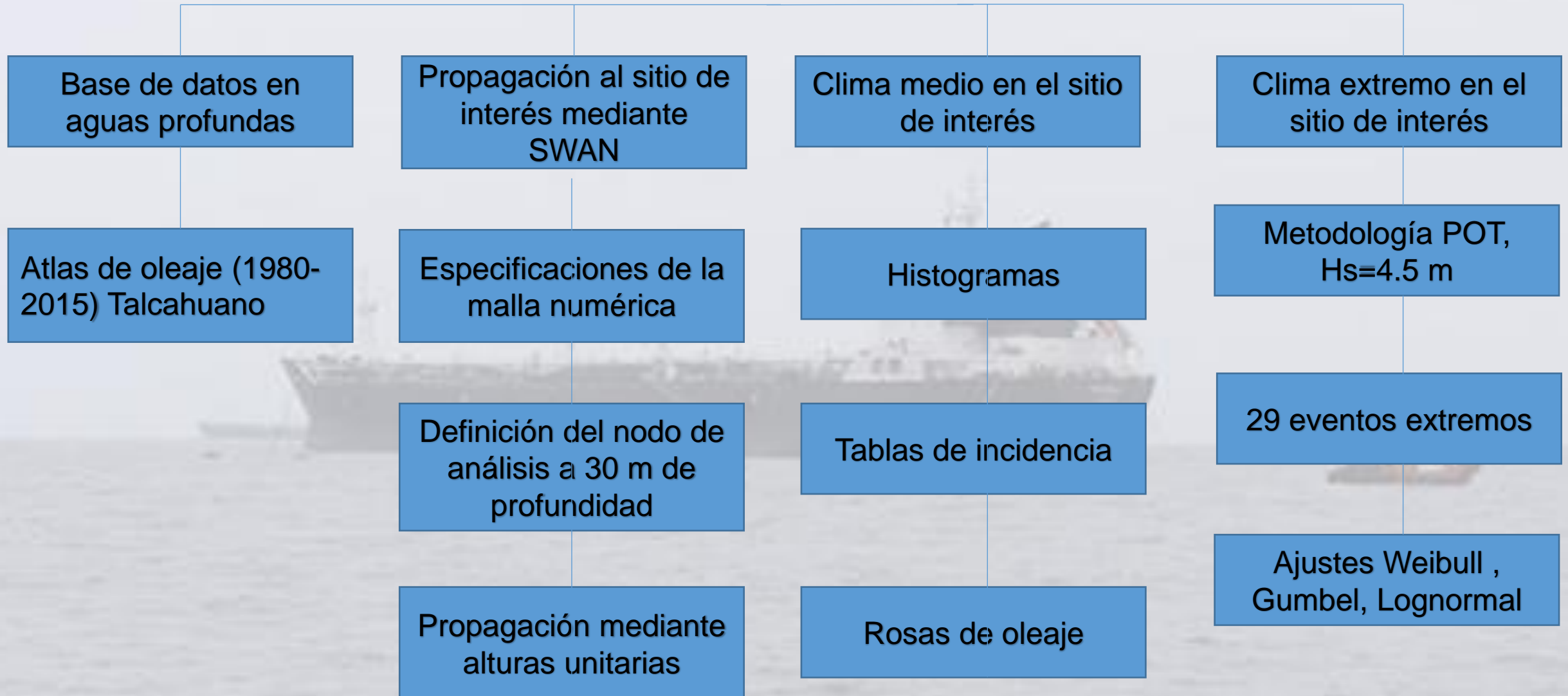
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las condicionantes naturales del sector en el que se emplazarán las obras.
- Estimar el downtime operacional del terminal marítimo.
- Proponer layout para la configuración del terminal marítimo.
- Desarrollar el cálculo del sistema de fondeo de la nave.
- Definir el sistema de transferencia de carga mediante cañerías submarinas rígidas y flexibles.
- Determinar el dimensionamiento y distancia entre los muertos de fijación para las cañerías submarinas rígidas.
- Definir el boyarín de levante para las cañerías flexibles.

3. METODOLOGÍA



ESTUDIO DE OLEAJE



Estudio de mareas y corrientes

Recopilación
antecedentes PRWD
(2008)

Proyecto de Ingeniería
Básica “Muelle de
Descarga de Carbón –
Puerto Coronel”

Estudio de vientos

FCMC (2012)

Explorador de Energía
Eólica
Datos de un año

Downtime por oleaje

- $H_s=1.5$ [m] Thorensen (2003)
- Naves 30000 a 200000 [dwt]

Downtime por viento

- $V_{10, 1min}=10$ [m/s] (20 nudos) Rom 3.1 -99 (2000)
- Por seguridad $V_{10, 1min}=7.5$ [m/s] (15 nudos)
- Suma de frecuencias acumuladas que superen umbral

Downtime por corriente

- Velocidad de corriente de 0.5 [m/s] ROM 3.1-99 (2000)
- Por seguridad 0.26 [m/s] o 0.5 [nudos], experiencia terminal multicrudos Quintero nave LOA 250

PROPUESTA DE LAYOUT

Consideraciones preliminares de diseño

- Definición de buque a ser amarrado y sus propiedades
- Cálculo del resguardo bajo la quilla (UKC)

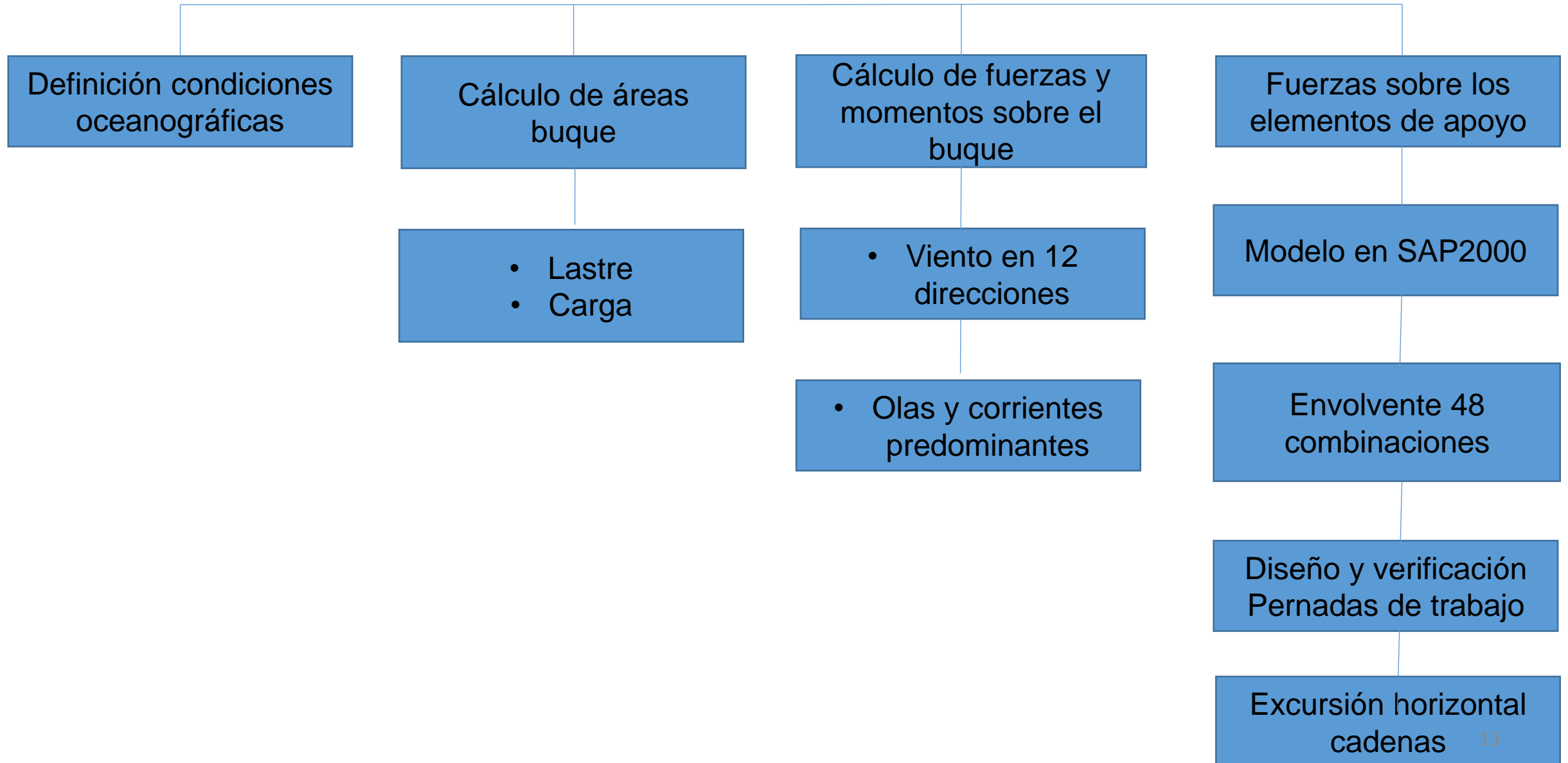
Análisis de alternativas

- Tres alternativas
- Fondeo y orientación

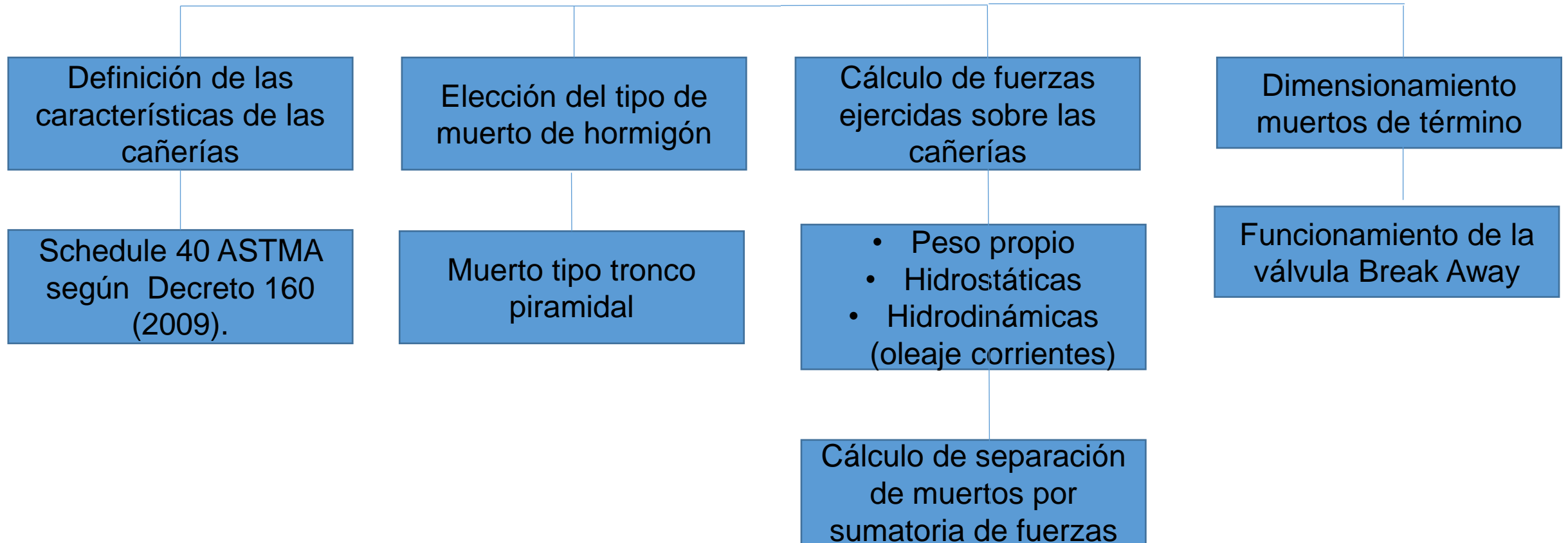
Selección de alternativa con matriz multicriterio

- Método AHP o jerarquías (Satty, 1977, 1980).
- Criterios: Costos, constructividad, seguridad en la operación, mantención, impacto en el sitio

CÁLCULO DE FONDEO



CAÑERÍAS SUBMARINAS



SISTEMA DE CAÑERÍAS FLEXIBLES

- Se seleccionó el tipo flexible según el catálogo Offshore Hose Manual (OCIMF).
- Cálculo del largo de los flexibles OCIMF (2010).

DEFINICIÓN BOYARÍN DE LEVANTE

- Obtención de los pesos asociados a las cadenas de levante que intentan hundir el boyarín de levante .
- Calculo del empuje del agua sobre el boyarín de levante.
- Verificación de las dimensiones del boyarín de levante.

4. RESULTADOS

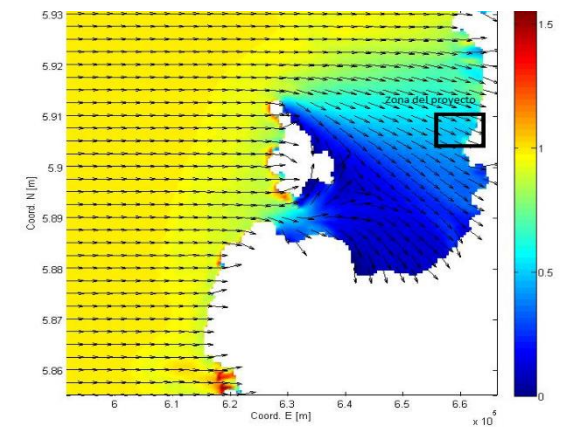
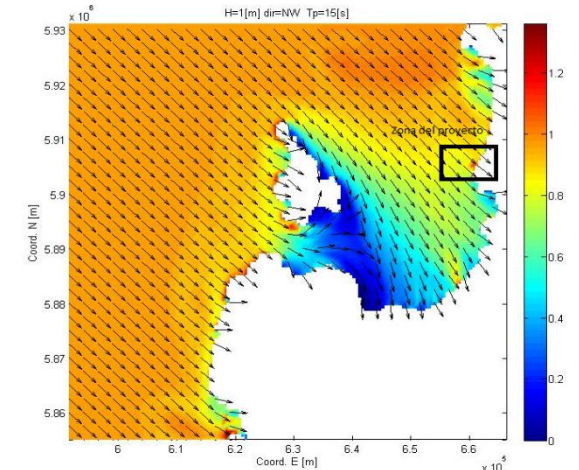
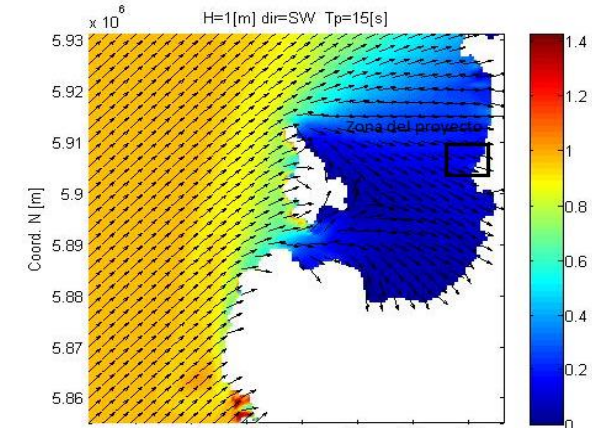


CARACTERIZACIÓN DE CONDICIONES NATURALES

MODELACIÓN DEL OLEAJE

Rango de Tp [s]	Rango de direcciones								
	N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW	S
[5-6.5]	0.85	0.86	0.96	0.29	0.64	0.97	0.09	0.04	0.02
[6.5-8.5]	0.72	0.89	0.95	0.24	0.54	0.82	0.07	0.04	0.02
[8.5-10.5]	0.69	0.85	0.91	0.24	0.52	0.78	0.08	0.04	0.02
[10.5-12.5]	0.68	0.84	0.88	0.25	0.50	0.75	0.10	0.05	0.03
[12.5-14.5]	0.70	0.84	0.86	0.27	0.50	0.72	0.13	0.07	0.04
[14.5-16.5]	0.73	0.85	0.84	0.30	0.49	0.69	0.17	0.09	0.05
[16.5-18.5]	0.70	0.81	0.78	0.30	0.45	0.63	0.19	0.11	0.06
[18.5-20.5]	0.57	0.66	0.64	0.24	0.36	0.51	0.16	0.10	0.05
[20.5-22.5]	0.45	0.52	0.51	0.19	0.29	0.41	0.12	0.07	0.04
[22.5-24.5]	0.39	0.45	0.43	0.16	0.25	0.35	0.11	0.06	0.03

Rango de Tp [s]	Rango de direcciones								
	N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	SSW	S
[5-6.5]	339	317	316	285	293	303	270	271	277
[6.5-8.5]	338	330	316	287	295	304	276	276	279
[8.5-10.5]	337	329	316	289	296	304	281	281	282
[10.5-12.5]	335	328	316	291	297	305	287	285	285
[12.5-14.5]	333	327	317	294	298	306	292	290	289
[14.5-16.5]	332	326	317	295	299	307	294	294	293
[16.5-18.5]	331	326	317	297	300	307	296	296	295
[18.5-20.5]	330	326	317	297	300	307	296	296	296
[20.5-22.5]	331	326	317	296	300	307	296	296	295
[22.5-24.5]	331	326	317	296	300	307	296	296	295



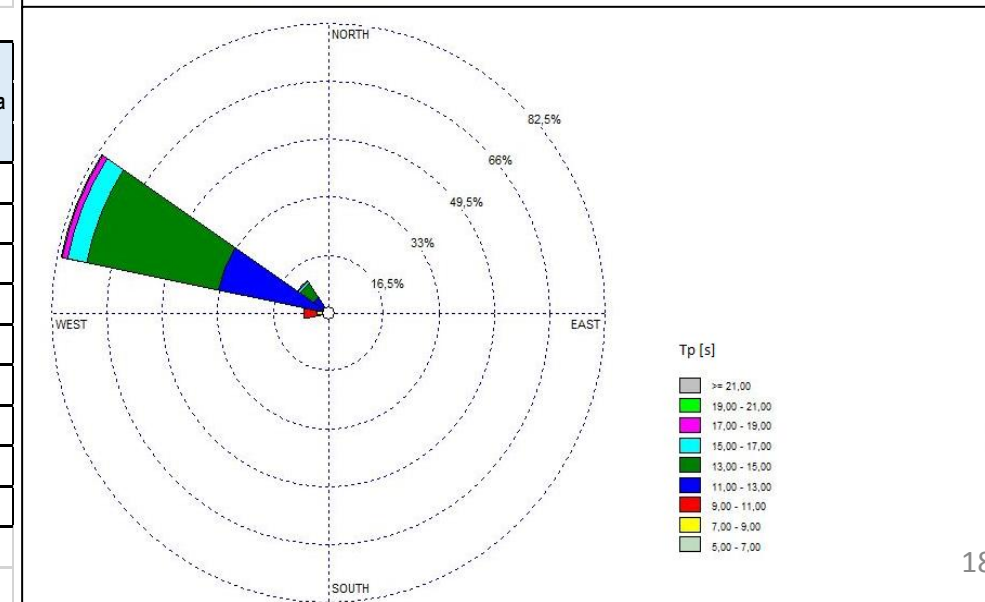
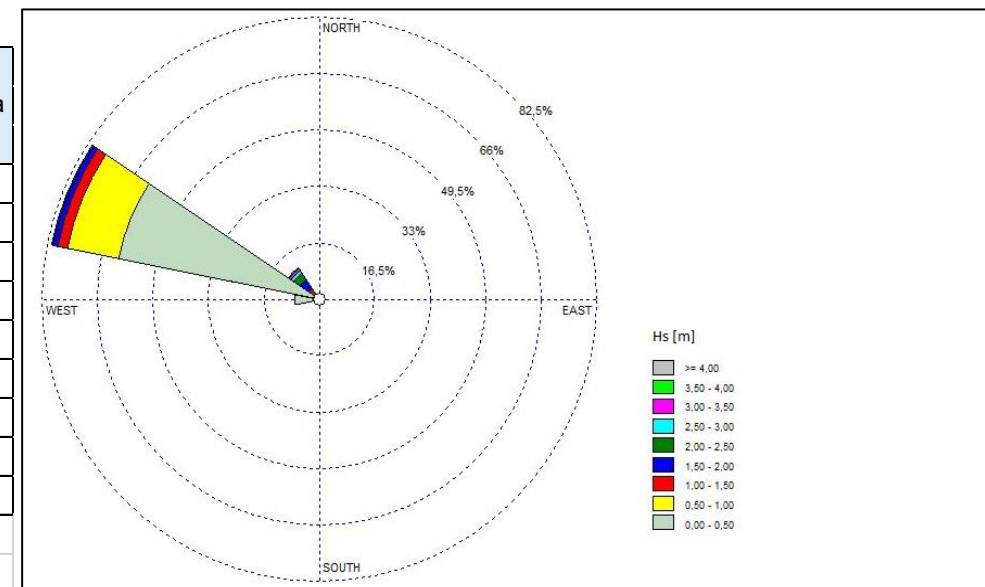
CLIMA MEDIO DE OLEAJE EN EL SECTOR DE ESTUDIO

TABLAS DE INCIDENCIA

Rango de Hs [m]	Rango de direcciones [°]									Total	Frec. acumulada
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N		
	[168.75-191.25]	[191.25-213.75]	[213.75-236.25]	[236.25-258.75]	[258.75-281.25]	[281.25-303.75]	[303.75-326.25]	[326.25-348.75]	[348.75-11.25]		
[0,00 - 0,50]	0	0	0	0	7.55	60.60	0.01	0	0	68.16	68.16
]0,50 - 1,00]	0	0	0	0	0	15.53	0.82	0	0	16.36	84.52
]1,00 - 1,50]	0	0	0	0	0	2.92	2.94	0.01	0	5.87	90.39
]1,50 - 2,00]	0	0	0	0	0	1.49	3.27	0.05	0	4.81	95.20
]2,00 - 2,50]	0	0	0	0	0	0.38	2.21	0.04	0	2.62	97.82
]2,50 - 3,00]	0	0	0	0	0	0.07	1.15	0.03	0	1.25	99.07
]3,00 - 3,50]	0	0	0	0	0	0.03	0.55	0.03	0	0.61	99.68
]3,50 - 4,00]	0	0	0	0	0	0	0.18	0.01	0	0.19	99.88
>= 4,00	0	0	0	0	0	0	0.12	0.00	0	0.12	100
Total	0	0	0	0	7.55	81.03	11.24	0.18	0	100	
Frec. acumulada	0	0	0	0	7.55	88.58	99.82	100	100		

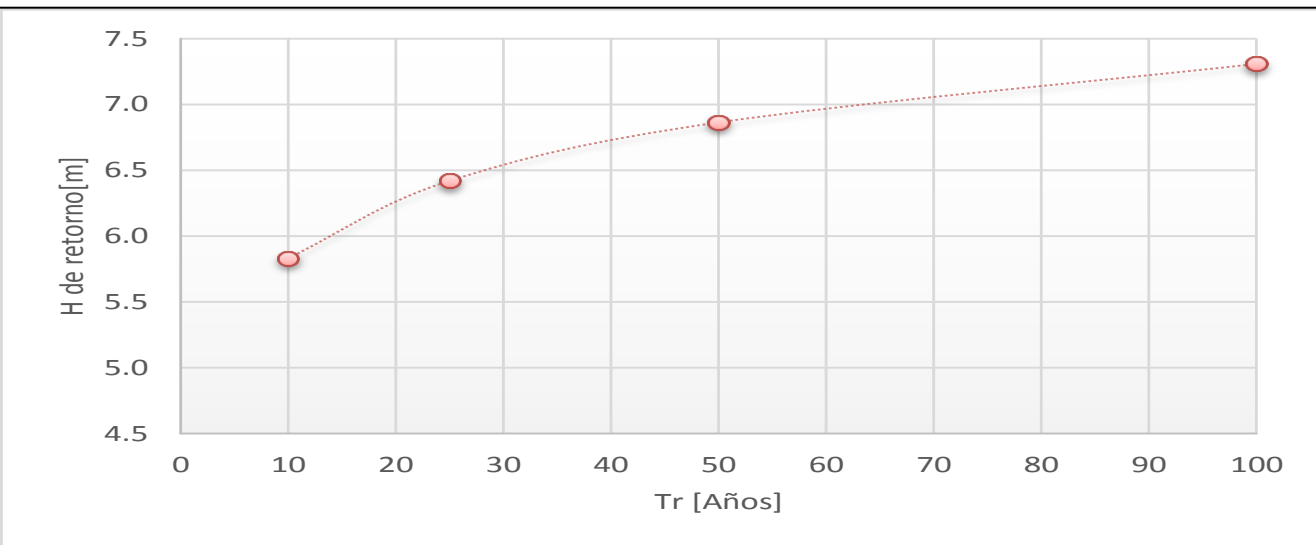
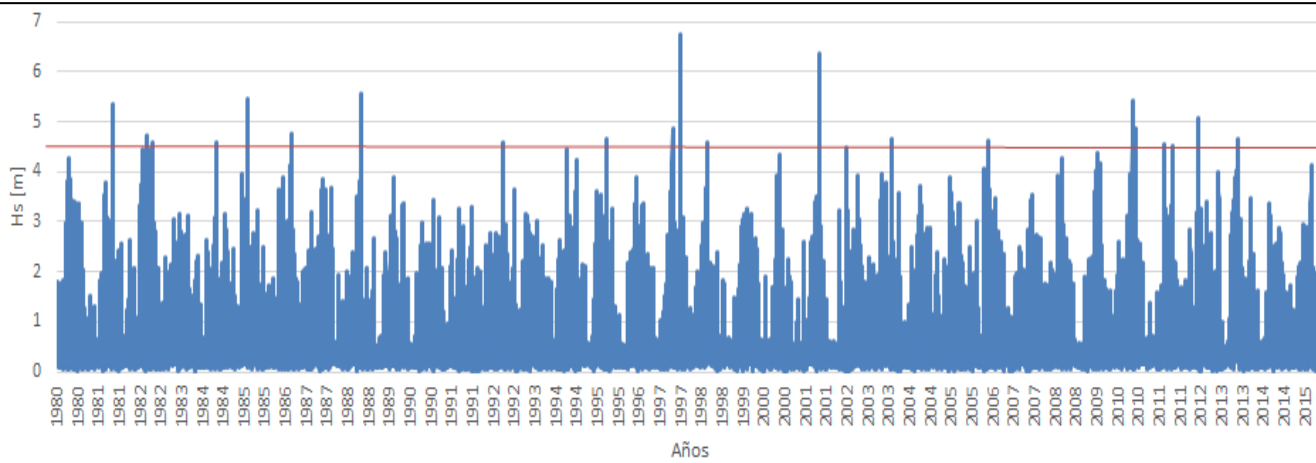
Rango de Tp [s]	Rango de direcciones [°]									Total	Frec. acumulada
	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N		
	[168.75-191.25]	[191.25-213.75]	[213.75-236.25]	[236.25-258.75]	[258.75-281.25]	[281.25-303.75]	[303.75-326.25]	[326.25-348.75]	[348.75-11.25]		
[5,00 - 7,00]	0	0	0	0	0.91	0.04	0.05	0.02	0	1.02	1.02
]7,00 - 9,00]	0	0	0	0	2.52	0.23	0.25	0.07	0	3.07	4.09
]9,00 - 11,00]	0	0	0	0	4.11	1.66	0.99	0.07	0	6.83	10.92
]11,00 - 13,00]	0	0	0	0	0.00	31.48	4.31	0.01	0	35.80	46.73
]13,00 - 15,00]	0	0	0	0	0	39.83	4.6	0.01	0	44.42	91.15
]15,00 - 17,00]	0	0	0	0	0	5.77	0.7	0	0	6.51	97.65
]17,00 - 19,00]	0	0	0	0	0	1.58	0.2	0	0	1.82	99.47
]19,00 - 21,00]	0	0	0	0	0	0.38	0.1	0	0	0.45	99.92
>= 21,00	0	0	0	0	0	0.06	0.03	0	0	0.08	100
Total	0	0	0	0	7.55	81.03	11.24	0.18	0	100	
Frec. acumulada	0	0	0	0	7.55	88.58	99.82	100	100		

ROSAS DE OLEAJE



CLIMA EXTREMO DE OLEAJE EN EL SECTOR DE ESTUDIO

- Se aplicó el método POT con un umbral de altura de ola de $H_s = 4.5$ [m].
- Se determinaron 29 eventos extremos que permitieron desarrollar el análisis
- La mejor correlación se obtuvo mediante la distribución Weibull $k=1$, con un 94.09 % de confianza.



Año	Hs[s]	Tp [s]	Dir p [°]	Año	Hs[s]	Tp [s]	Dir p [°]
1997	6.7	14	317	2003	4.7	10	316
1997	6.7	12	316	2013	4.7	16	307
2001	6.4	10	316	2010	4.6	15	307
1988	5.6	10	329	1995	4.6	9	316
1985	5.5	16	307	1997	4.6	15	307
2010	5.4	10	316	2006	4.6	11	316
1981	5.4	15	307	1992	4.6	16	307
1988	5.1	11	316	1984	4.6	14	306
2012	5.1	11	316	1998	4.6	12	305
1985	4.9	16	307	1982	4.6	9	316
1997	4.9	10	316	2011	4.6	15	307
2010	4.9	16	307	2012	4.5	11	316
1986	4.8	12	305	2011	4.5	14	306
1997	4.8	15	307	2010	4.5	15	307
1982	4.7	10	316				

Periodos Retorno (años)	F	H de retorno [m]
10	0.9	5.83
25	0.96	6.42
50	0.98	6.86
100	0.99	7.31

ESTUDIO DE CORRIENTES

Correntómetro superficial

Magnitud [cm/s]	Dirección								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
0.0 - 1.0	20	29	29	34	33	31	30	28	234
1.1 - 3.0	111	173	157	137	170	166	124	122	1160
3.1 - 5.0	116	259	252	190	222	201	129	100	1469
5.1 - 7.0	85	197	200	137	97	131	91	38	976
7.1 - 9.0	32	72	140	63	39	80	55	22	503
9.1 - 11.0	10	35	52	17	12	41	26	14	207
11.1 - 13.0	2	16	17	1	2	9	37	3	87
13.1 - 15.0	3	18	14	1		4	39	4	83
> 15.0	7	18	12	2	2	8	13	1	63
Total efectivo	366	788	844	548	544	640	514	304	4548
Incidencia [%]	7.7	16.5	17.6	11.5	11.4	13.4	10.7	6.4	95.1
Máximo [cm/s]	23.0	19.4	22.8	23.4	17.6	19.6	19.4	21.4	23.4
Media [cm/s]	4.8	5.5	5.7	4.8	4.3	5.2	6.4	4.4	5.2
Total Data									4782

Correntómetro profundo

Magnitud [cm/s]	Dirección								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
0.0 - 1.0	4	7	7	7	9	14	7	3	58
1.1 - 3.0	16	19	11	14	20	19	10	12	121
3.1 - 5.0	11	10	4	3	2	4	6	7	47
5.1 - 7.0	1			1		1	3		6
7.1 - 9.0	2	1						3	6
9.1 - 11.0		1							1
11.1 - 13.0									
13.1 - 15.0									
> 15.0									
Total efectivo	30	31	15	18	22	24	19	22	181
Incidencia [%]	12.6	13.0	6.3	7.5	9.2	10.0	7.9	9.2	75.7%
Máximo [cm/s]	8.0	9.9	4.1	6.6	4.1	6.7	7.0	8.6	9.9
Media [cm/s]	3.2	2.9	2.4	2.6	2.2	2.3	3.4	3.4	2.8
Total Data									239

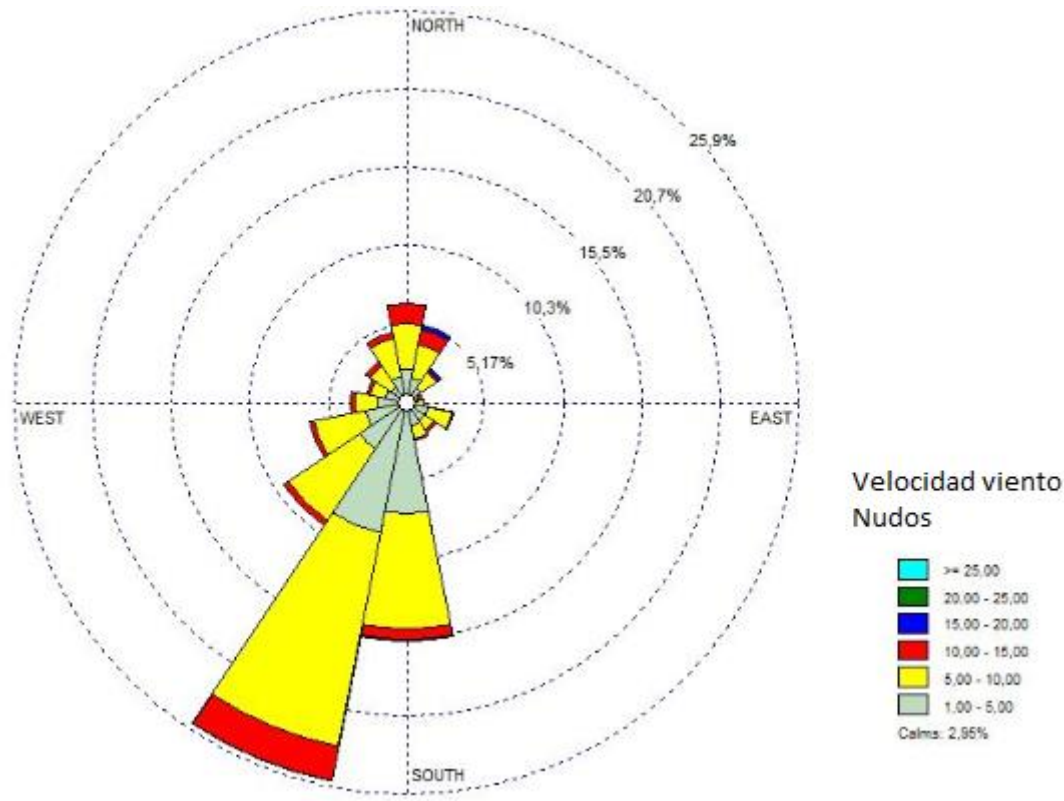
ESTUDIO DE MAREAS

Planos mareales en la Bahía de Coronel.

Marea	Altura [m NRS]
Pleamar máxima	1.83
Pleamar media de sicigias	1.69
Nivel Medio del Mar	0.81
Bajamar media de sicigias	0.1
Bajamar mínima	-0.05

ESTUDIO DE VIENTOS

Rango de direcciones [°]		Rango de velocidades [Nudos]					Total	Frec.acumulada
		]1,00 - 5,00]	]5,00 - 10,00]	]10,00 - 15,00]	]15,00 - 20,00]	]20,00 - 25,00]		
[348.75-11.25[	N	2.24	3.15	1.31	0.05	0	6.75	6.75
[11.25-33.75[	NNE	1.79	2.23	1.09	0.29	0.01	5.41	12.16
[33.75-56.25[	NE	1.25	1.21	0.27	0.14	0	2.88	15.04
[56.25-78.25[	ENE	0.50	0.44	0.24	0.01	0	1.18	16.22
[78.75-101.25[	E	0.59	0.60	0.06	0	0	1.25	17.47
[101.25-123.75[	ESE	1.59	1.57	0.17	0	0	3.33	20.79
[123.75-146.25[	SE	1.51	0.77	0.21	0	0	2.49	23.28
[146.25-168.75[	SSE	1.62	0.93	0.17	0.02	0	2.74	26.02
[168.75-191.25[	S	7.61	7.76	0.68	0.13	0	16.18	42.20
[191.25-213.75[	SSW	9.00	14.74	2.32	0.04	0	26.10	68.31
[213.75-236.25[	SW	3.88	5.74	0.40	0	0	10.03	78.33
[236.25-258.75[	WSW	2.87	3.55	0.31	0	0	6.72	85.06
[258.75-281.25[	W	1.93	1.60	0.25	0.01	0	3.80	88.85
[281.25-303.75[	WNW	1.60	0.99	0.21	0.00	0	2.81	91.66
[303.75-326.25[	NW	1.36	1.62	0.44	0.01	0	3.42	95.08
[326.25-348.75[	NNW	1.85	2.62	0.44	0.01	0	4.92	100
	Total	41.19	49.53	8.55	0.72	0.01	100	
	Frec.acumulada	41.19	90.72	99.27	99.99	100		

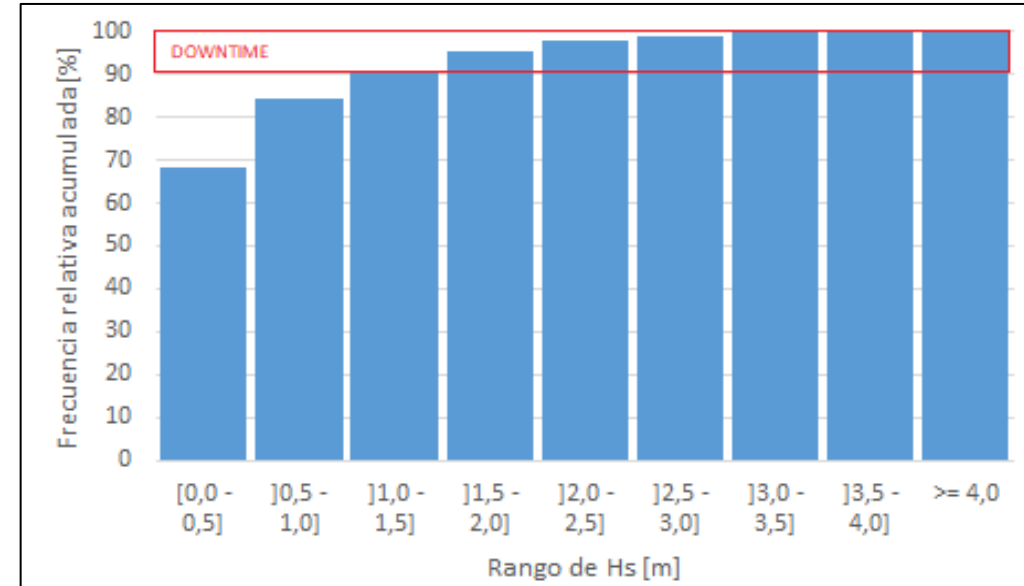


El mayor porcentaje de direcciones de vientos proviene de las direcciones S,SW,SSW con un 52.23% del total de la estadística, y vientos entre 1 a 10 Nudos con un 90.72 % del total de la estadística.

ESTIMACIÓN DEL DOWNTIME OPERACIONAL

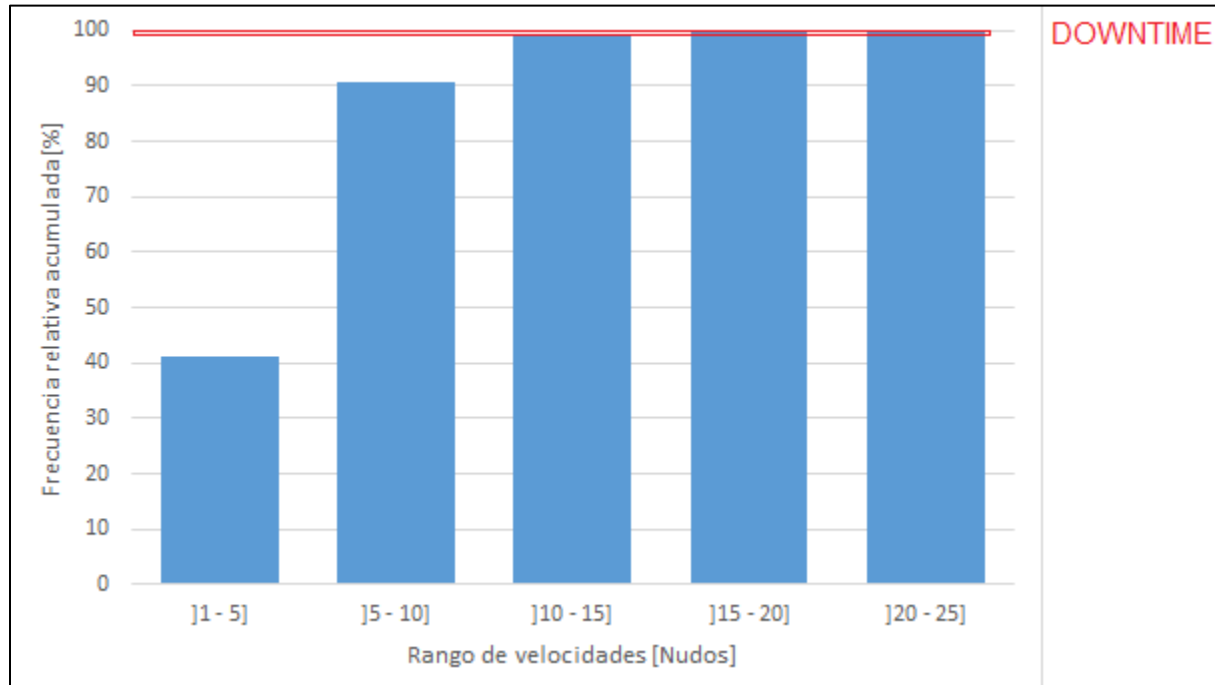
DOWNTIME POR OLEAJE

Type of ship	Limiting wave height H_s in metres	
	0° (head on or stern on)	45°-90°
General cargo	1.0	0.8
Container, ro/to ship	0.5	
Dry bulk 30 000-100 000 dwt loading	1.5	1.0
Dry bulk 30 000-100 000 dwt unloading	1.0	0.8-1.0
Tankers 30 000 dwt	1.5	
Tankers 30 000-200 000 dwt	1.5-2.5	1.0-1.2
Tankers 200 000 dwt	2.5-3.0	1.0-1.5



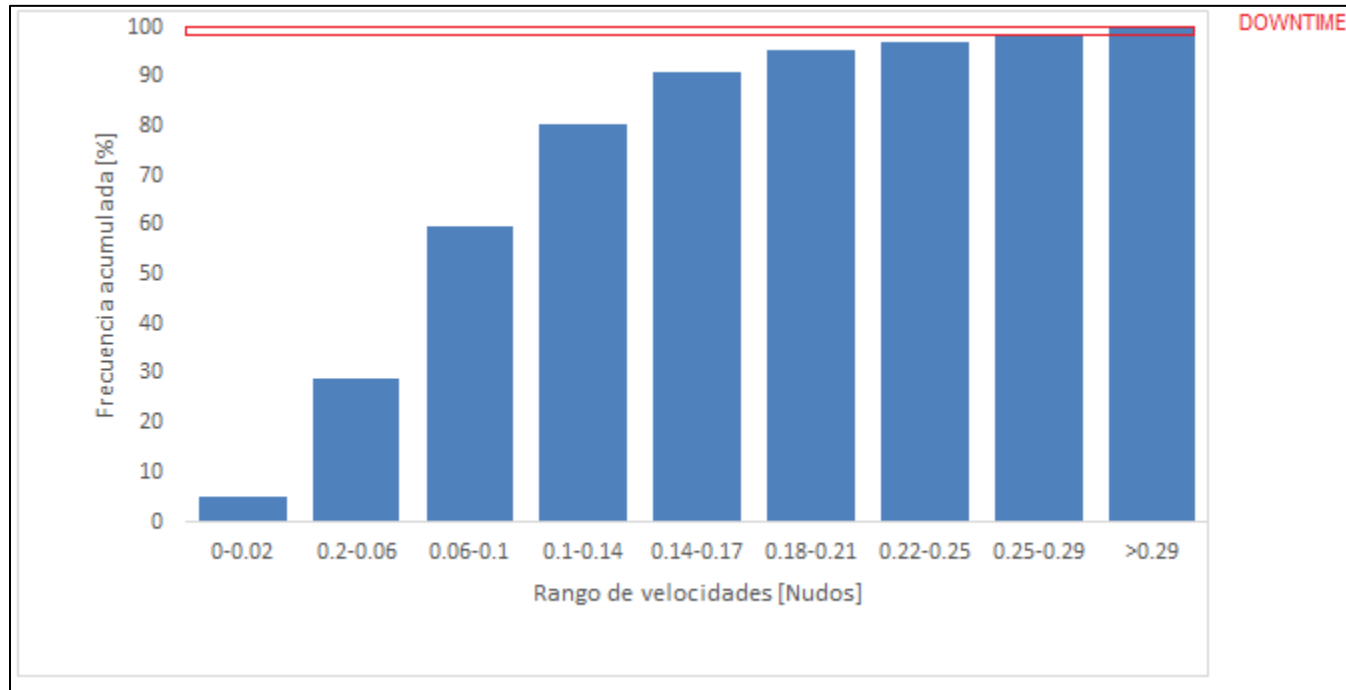
Se puede apreciar que el downtime operacional o tiempo de inactividad del buque tanque durante operaciones de carga y descarga de productos sería de 10%, lo cual sería un porcentaje aceptable según Thorensen (2003) (90-95% de operatividad).

DOWNTIME POR VIENTO



Se observa que el downtime operacional por viento es del 0.73%, lo cual se considera un porcentaje de tiempo de inoperatividad bajo y aceptable para realizar operaciones de carga y descarga de productos.

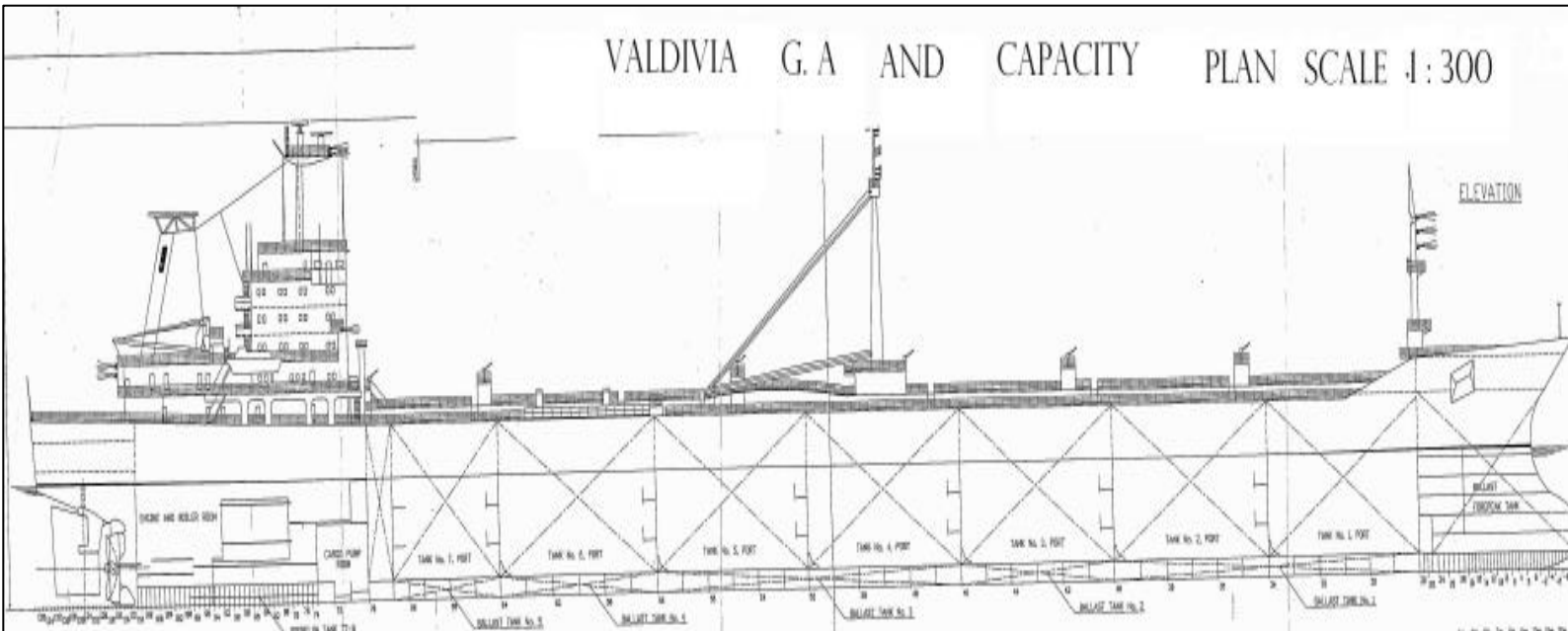
DOWNTIME POR CORRIENTES



El downtime operacional por corrientes se definió con un umbral de operación de 0.5 [Nudos], y este al estar dentro del rango de velocidades mayores a 0.29 [Nudos] quiere decir que el downtime operacional sería menor al 1.32%, lo cual se considera un porcentaje de tiempo de inoperatividad bajo y aceptable para realizar operaciones de carga y descarga de productos.

LAYOUT DEL TERMINAL MARÍTIMO

BUQUE A SER AMARRADO Y SUS PROPIEDADES

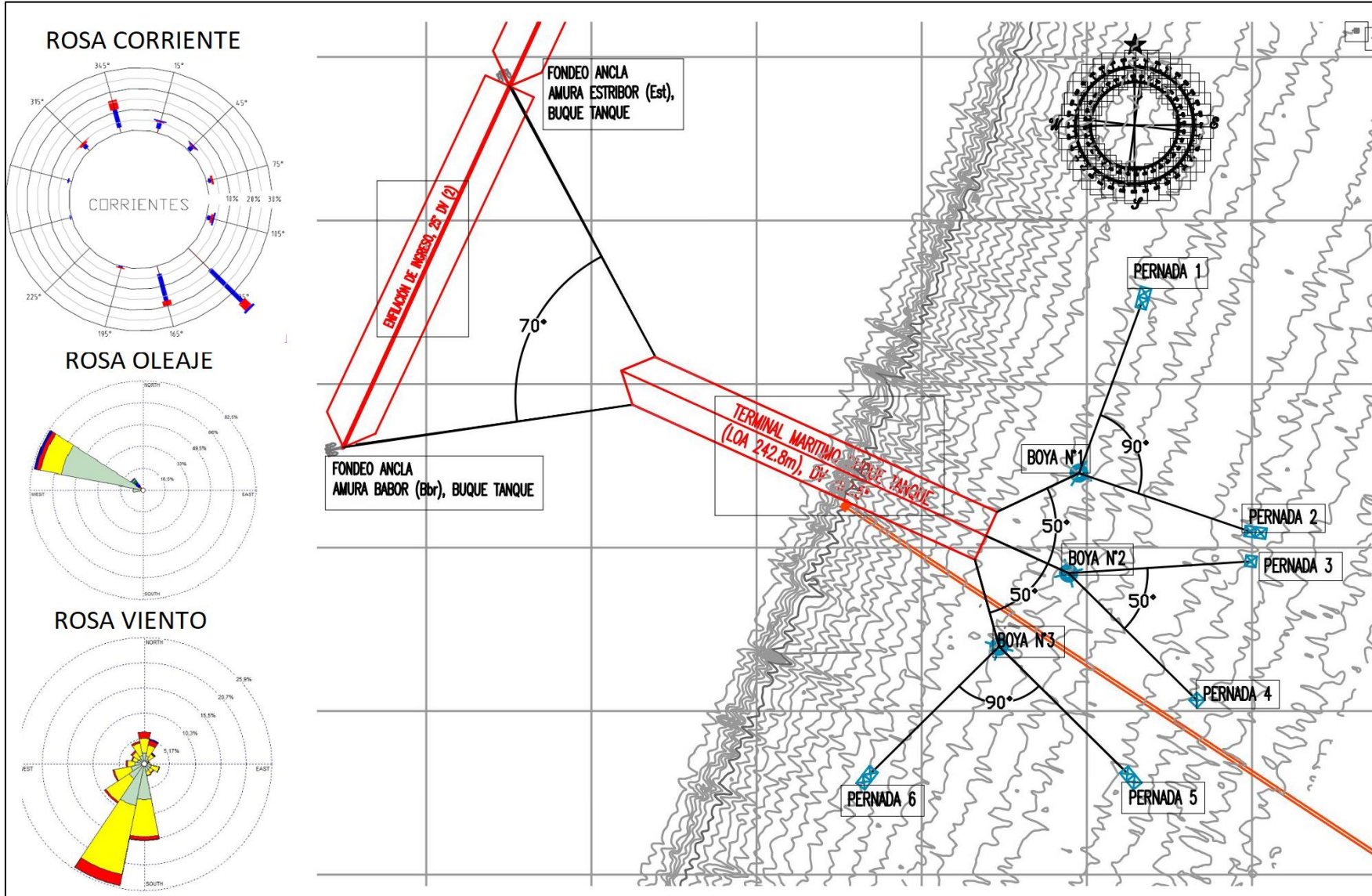


PARÁMETROS	VALOR
TIPO DE NAVE	OIL TANKER
NOMBRE	VALDIVIA
ESLORA TOTAL (LOA)	242,8 metros
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES (EPP)	227,92 metros
MANGA MOLDEADA (M)	32,21 metros
PUNTAL (P)	18,00 metros
CALADO MEDIO MÁXIMA CARGA (CMAX)	13,62 metros
CALADO MEDIO EN LASTRE (CML)	7,00 metros
SUPERFICIE LATERAL CASERIO	630m ²
SUPERFICIE FRONTAL CASERIO	578 m ²
DESPLAZAMIENTO	95.000 TM
TONELAJE DE PESO MUERTO	68.232TM
TRG	31.766 ton

El U.K.C. en el sitio de fondeo es de 16.5 [m], o bien 2.92 [m] de agua entre el fondo marino y la quilla del buque.

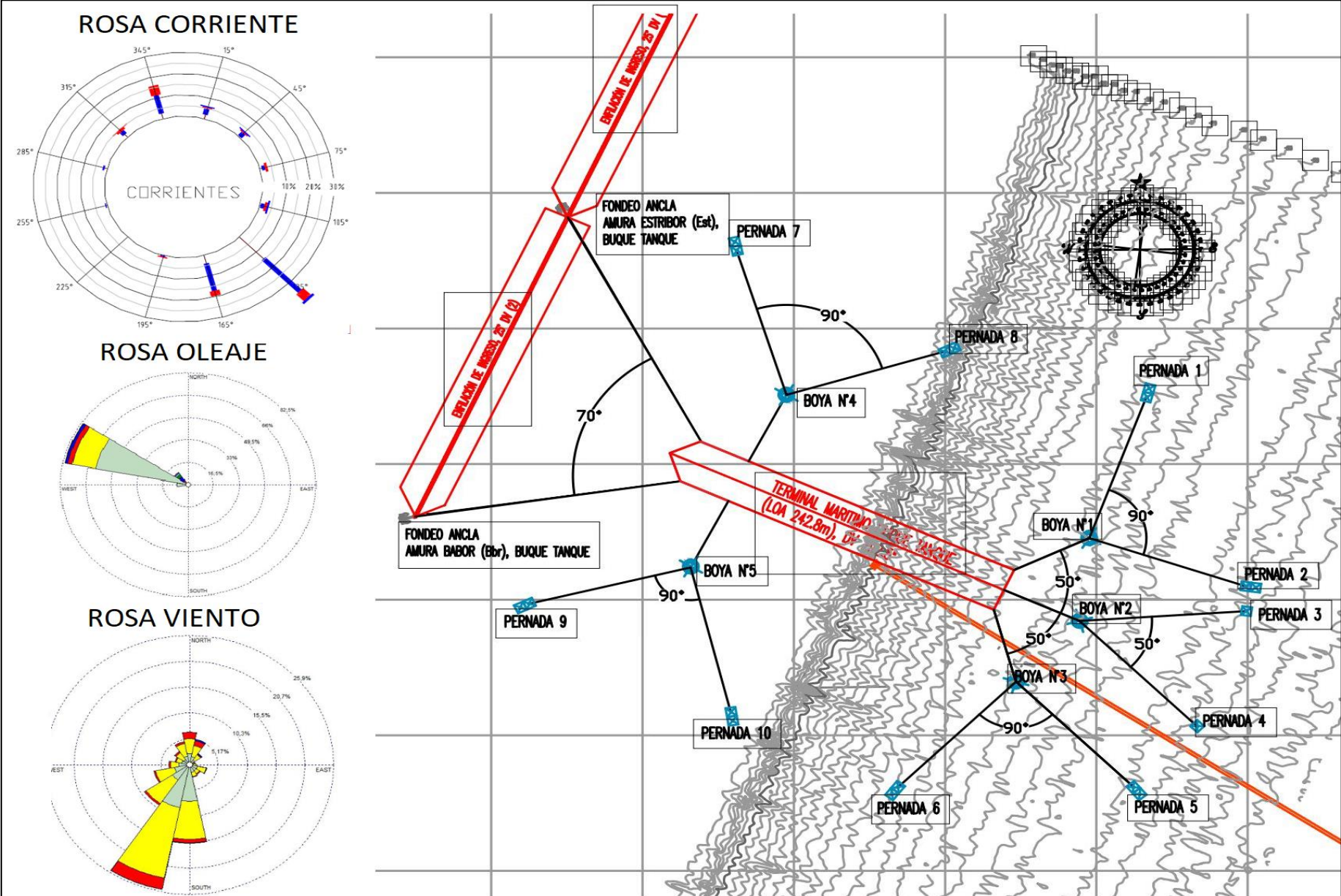
DETERMINACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE AMARRE

ALTERNATIVA 1, CBM 3 BOYAS DE AMARRE Y 2 ANCLAS A PROA



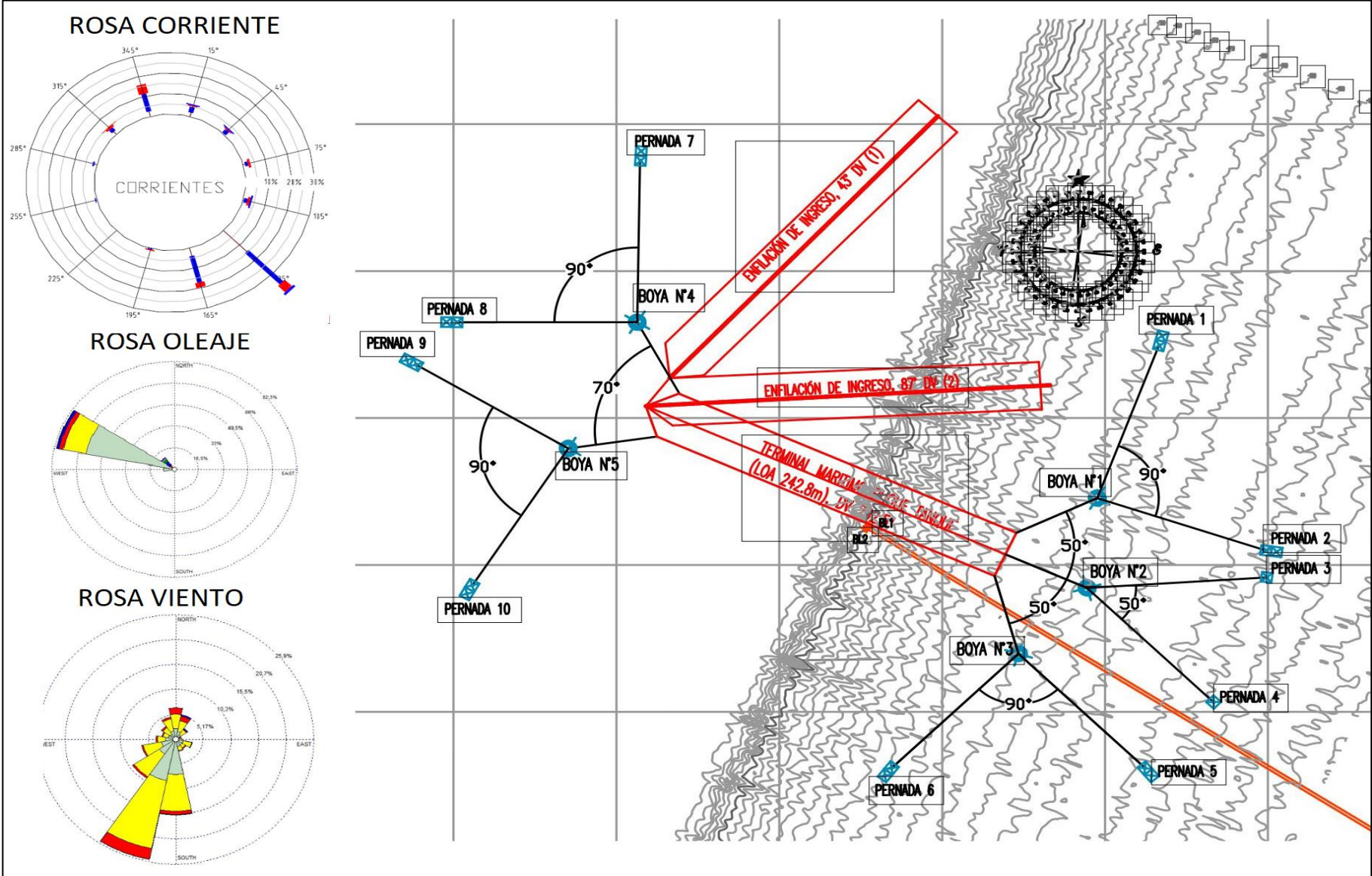
ELEMENTO	PROFUNDIDAD NRS [m]
BOYA N°1	-14
PERNADA 1	-14
PERNADA 2	-9
BOYA N°2	-13
PERNADA 3	-9
PERNADA 4	-9
BOYA N°3	-14
PERNADA 5	-10
PERNADA 6	-16
ANCLA N°1 AMURA ESTRIBOR	35
ANCLA N°2 AMURA BABOR	35

ALTERNATIVA 2, CBM 5 BOYAS DE AMARRE Y 2 ANCLAS A PROA



ELEMENTO	PROFUNDIDAD NRS [m]
BOYA N°1	-14
PERNADA 1	-14
PERNADA 2	-9
BOYA N°2	-13
PERNADA 3	-9
PERNADA 4	-9
BOYA N°3	-14
PERNADA 5	-10
PERNADA 6	-16
BOYA N°4	-33
PERNADA 7	-34
PERNADA 8	-31
BOYA N°5	-33
PERNADA 9	-34
PERNADA 10	-32
ANCLA N°1 AMURA ESTRIBOR	35
ANCLA N°2 AMURA BABOR	35

ALTERNATIVA 3, ABM CON 5 BOYAS DE AMARRE



ELEMENTO	PROFUNDIDAD NRS [m]
BOYA N°1	-14
PERNADA 1	-14
PERNADA 2	-9
BOYA N°2	-13
PERNADA 3	-9
PERNADA 4	-9
BOYA N°3	-14
PERNADA 5	-10
PERNADA 6	-16
BOYA N°4	-34
PERNADA 7	-35
PERNADA 8	-35
BOYA N°5	-34
PERNADA 9	-35
PERNADA 10	-34

SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Esta matriz se obtuvo mediante los valores del vector promedio para las alternativas i, ii y iii según los valores que se asignaron para cada criterio a través de la escala numérica de Saaty (del 1 al 9) por el método AHP

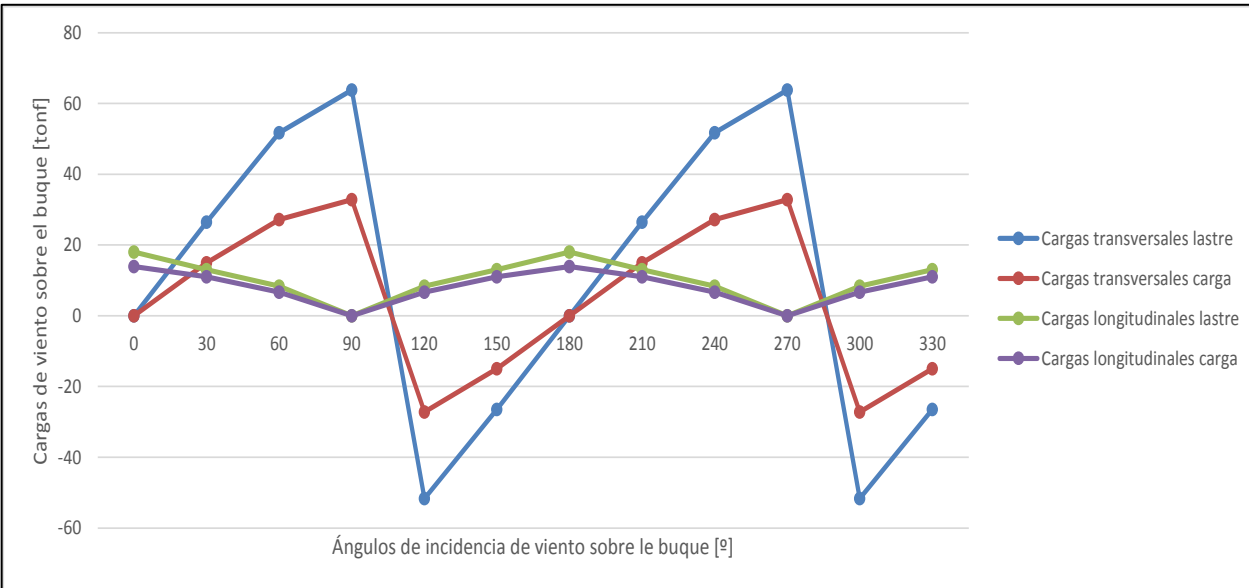
Alternativa	Criterios analizados					Priorización
	A	B	C	D	E	
i	0.69	0.72	0.10	0.71	0.60	0.524
ii	0.11	0.19	0.62	0.20	0.20	0.269
iii	0.22	0.08	0.28	0.09	0.20	0.212
Ponderación	0.50	0.13	0.27	0.03	0.07	

- A: Criterio de costo de obra
- B: Criterio de seguridad de operación
- C: Criterio de impacto en el sitio
- D: Criterio de factibilidad constructiva
- E: Criterio de mantención

CÁLCULO DE FONDEO

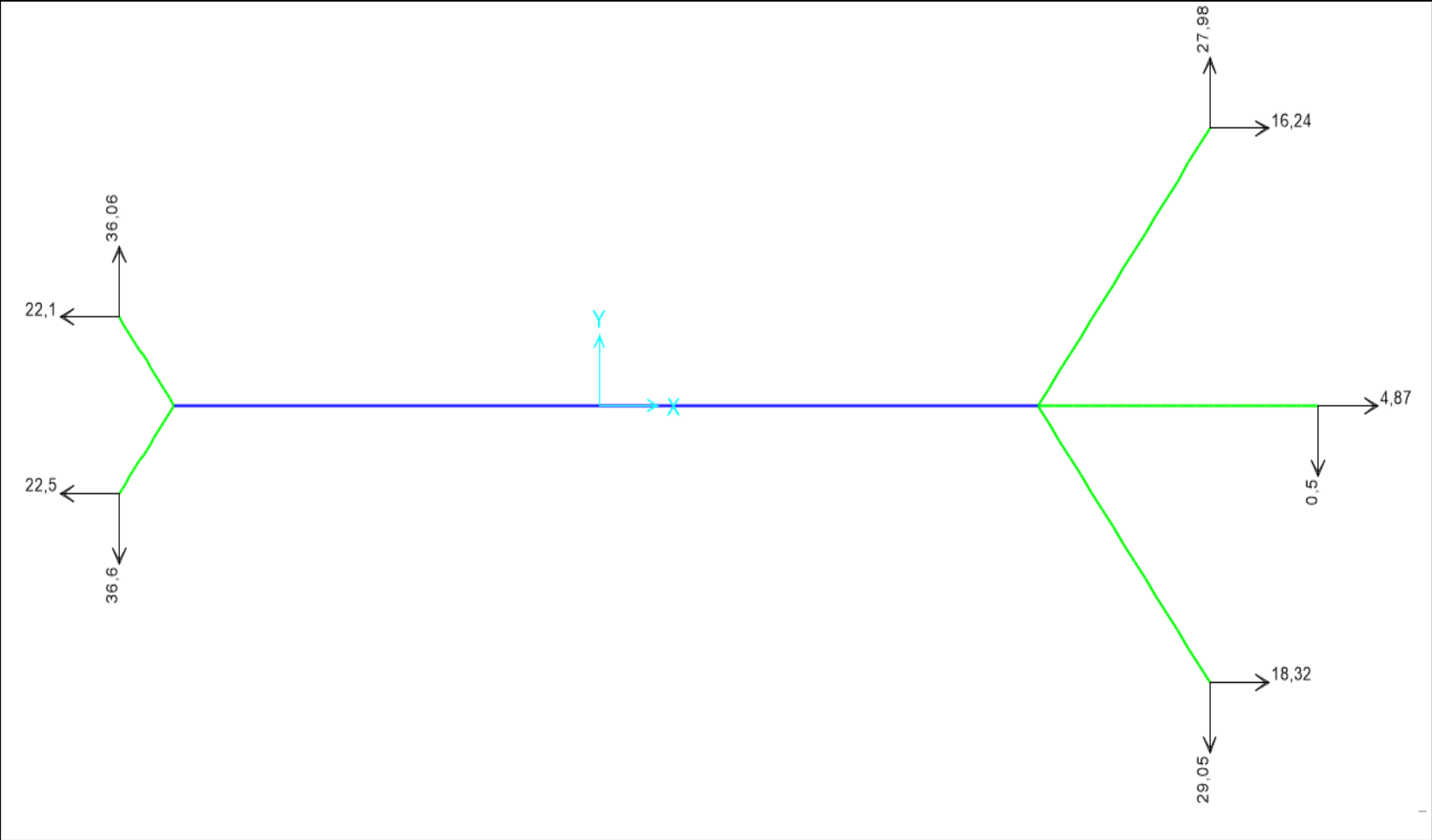
CÁRGAS SOBRE EL BUQUE LOA 242.8 [m]

Intensidad del viento	30 nudos (15.44 m/s)	Rachas de viento (1 min)
Ángulos de incidencia del viento sobre la nave	0-30-60-90-120-150-180-210-240-270-300-330	Ángulos al eje de crujía
Intensidad de corriente	0.5 nudos (0.26 m/s)	Sección 4.2.3
Ángulo de incidencia de la corriente sobre la nave	20°	Sección 5.1.2
Altura de ola	1.5 m	Sección 4.2.1
Período de ola	13 s	Sección 5.1.1.2
Ángulo de incidencia del oleaje sobre la nave	22.5°	303.75-281.25 (rango dir WNW)
Amplitud de marea	2 m	Sección 5.1.3



Cargas de viento [°]	Fuerzas sobre el buque [tonf]				Momento [tonf m]	
	Transversales		Longitudinales		Lastre	Carga
	Lastre	Carga	Lastre	Carga		
0	0	0	18	13.9	0	0
30	26.5	15	13	11	1028.8	-364.2
60	51.7	27.2	8.4	6.7	627.7	-793.5
90	63.8	32.8	0	0	-620	-1272.3
120	-51.7	-27.2	8.4	6.7	2259.6	1785.3
150	-26.5	-15	13	11	2121.9	1347.4
180	0	0	18	13.9	0	0
210	26.5	15	13	11	-2121.9	-1347.4
240	51.7	27.2	8.4	6.7	-2259.6	-1785.3
270	63.8	32.8	0	0	-620	-1272.3
300	-51.7	-27.2	8.4	6.7	-627.7	793.5
330	-26.5	-15	13	11	-1028.8	364.2
Cargas de presión de corrientes	1	4.6	0.5	1.8	16.9	146.5
Cargas de fricción de corrientes	0.013	0.013	0.129	0.165		
Cargas de oleaje	0.2	1	0.4	2		

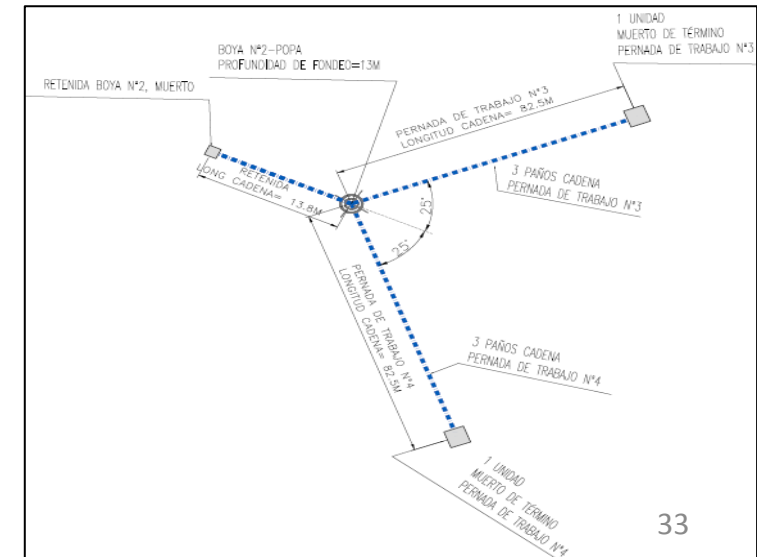
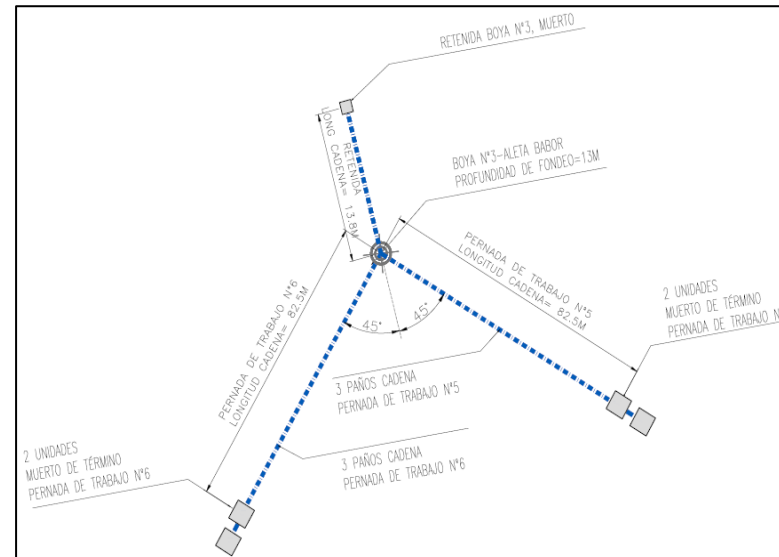
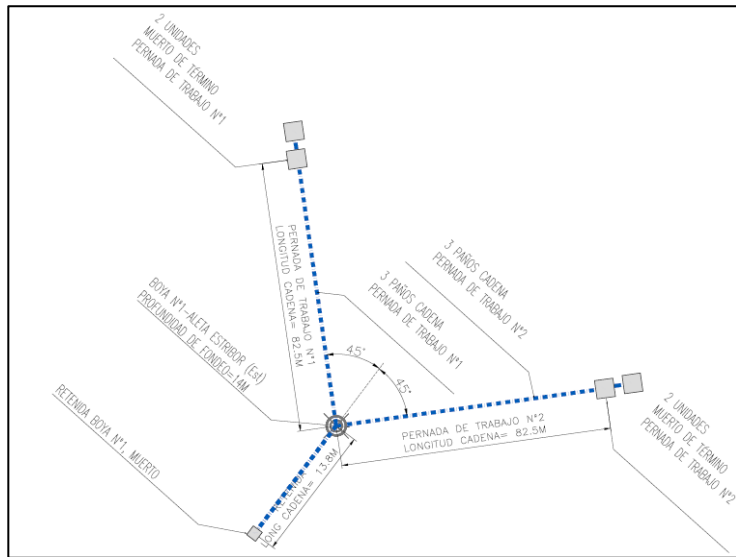
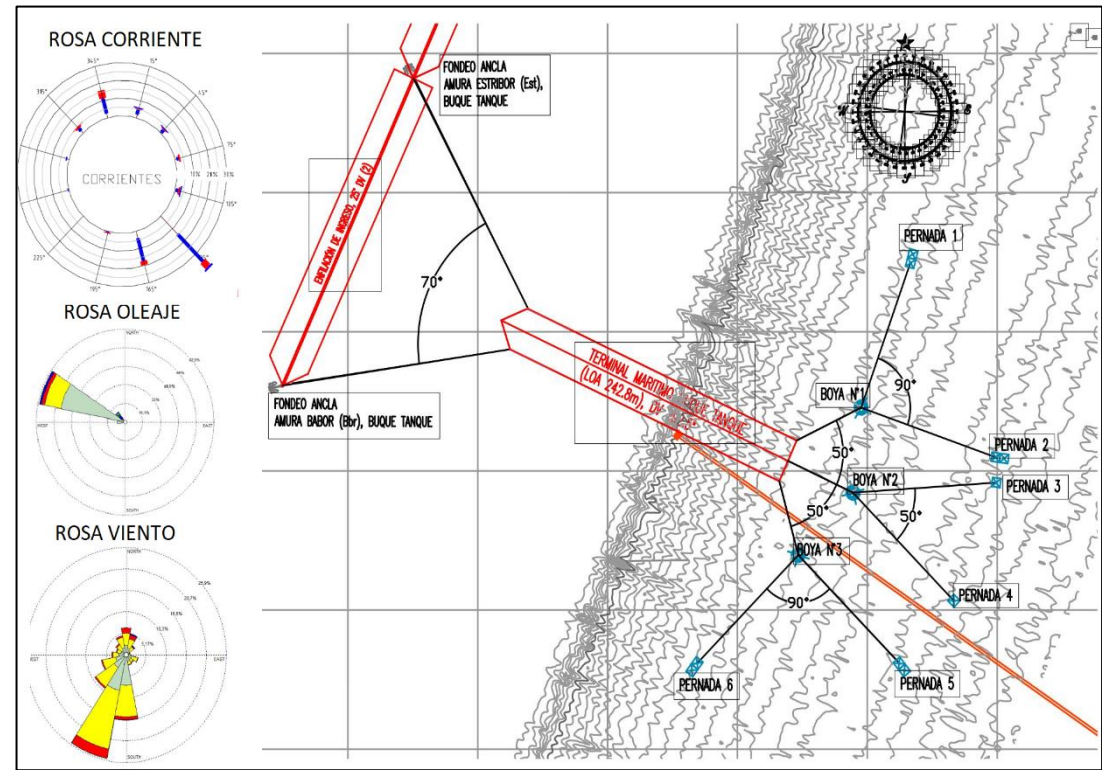
CARGAS SOBRE LOS ELEMENTOS DE AMARRE



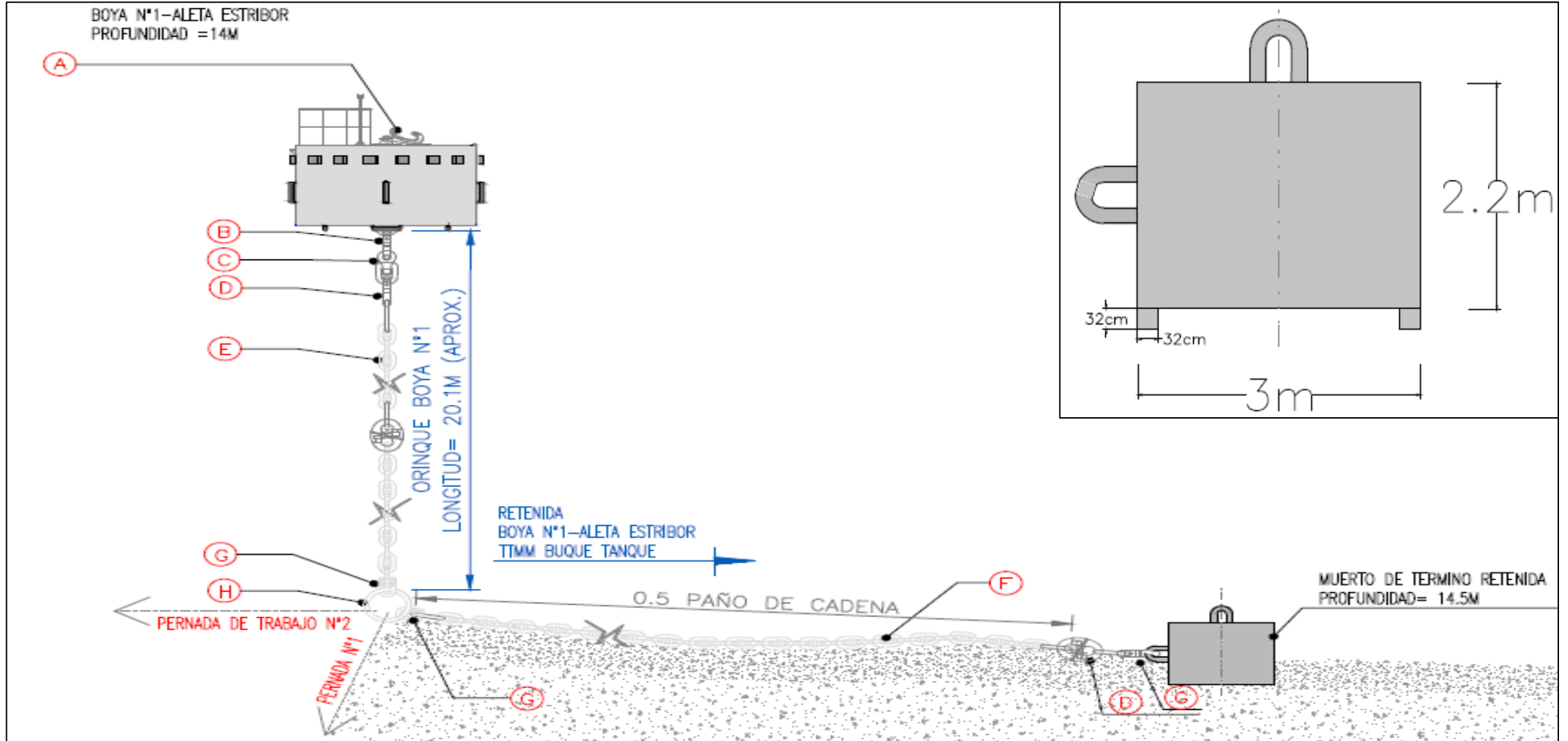
Punto de amarre	en X [tonf]	en Y [tonf]
Aleta estribor	16.24	27.98
Popa	4.87	0.5
Aleta babor	18.32	29.05
Amura estribor	22.1	36.06
Amura babor	22.5	36.6

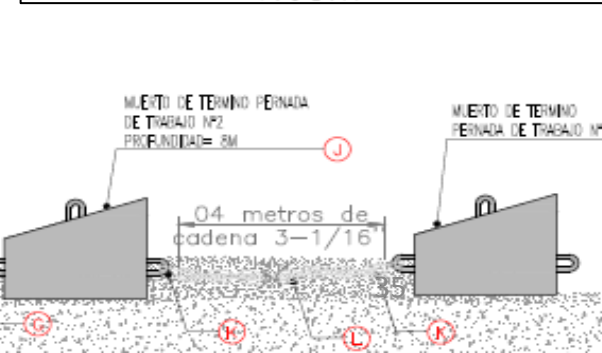
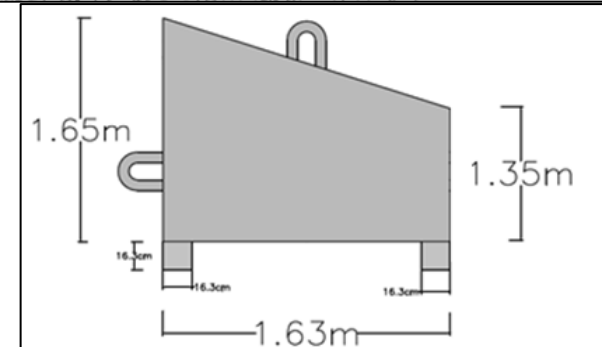
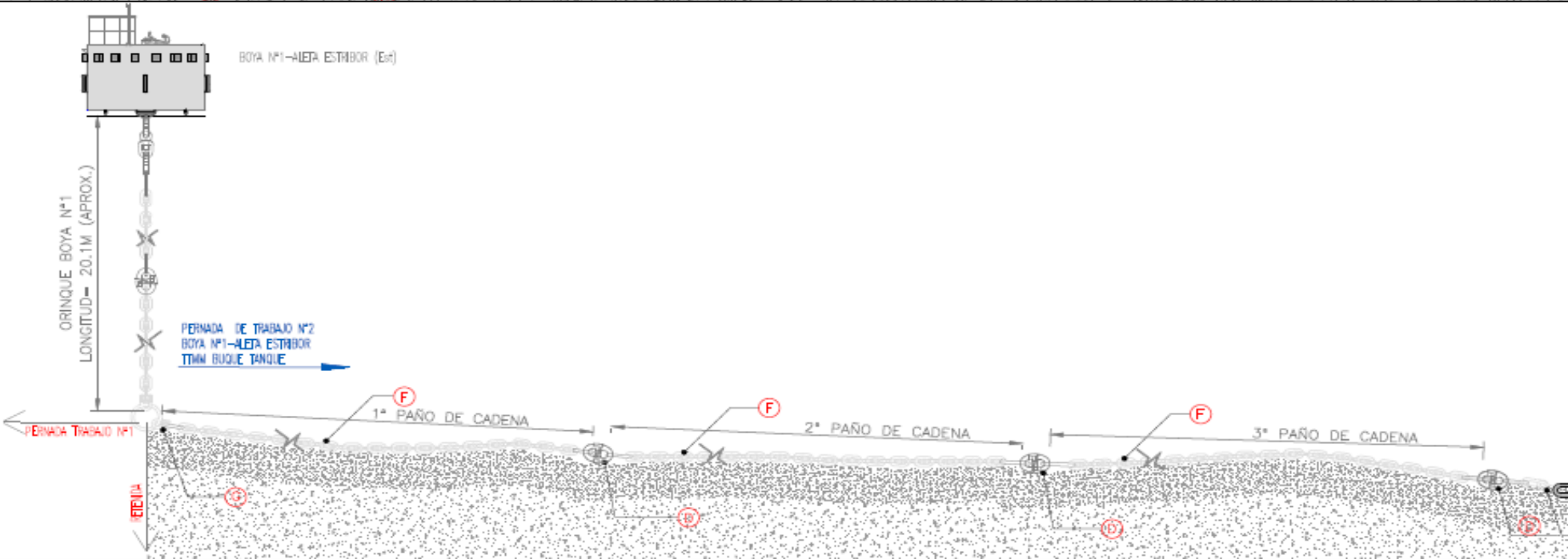
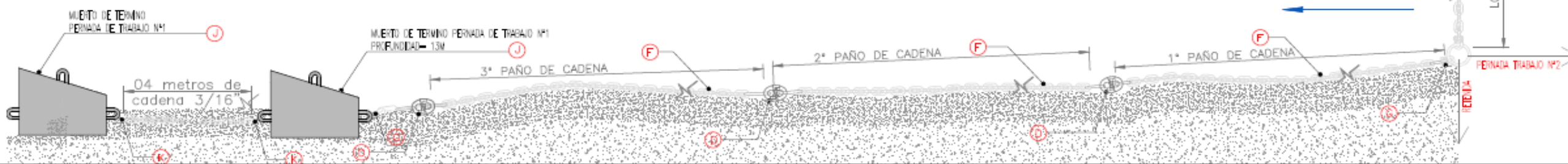
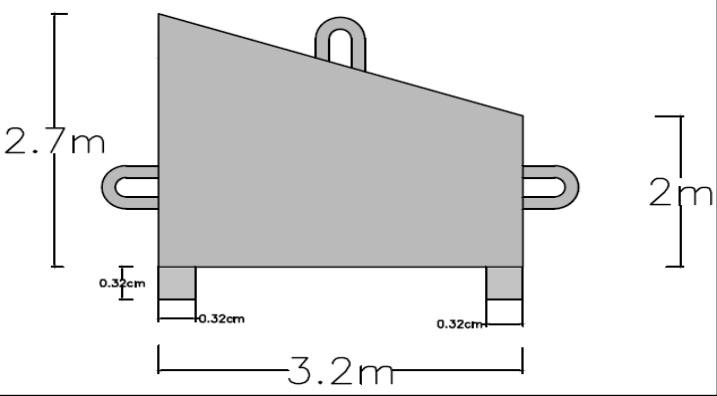
DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE FONDEO

Elementos de fondeo	BOYAN#1		BOYAN#2		BOYAN#3	
	Pernada N°1	Pernada N°2	Pernada N°3	Pernada N°4	Pernada N°5	Pernada N°6
Largo orinque [m]	20.1		19		19	
N° Paños de cadena	3	3	3	3	3	3
Diámetro cadena Grado 2 [pulg]	3-1/16"	3-1/16"	1-1/8"	1-1/8"	3-1/8"	3-1/8"
Carga rotura cadena [lbf]	705000	705000	105000	105000	732000	732000
N° Muertos de término	2	2	1	1	2	2
Peso muerto de término [tonf]	42.5	42.5	12.5	12.5	43.8	43.8
Peso sumergido muerto de término [tonf]	25.1	25.1	7.4	7.4	25.8	25.8
Capacidad de resistencia muerto de término [tonf]	34.6	36.6	5.1	5.1	35.6	35.6
Reserva de boyantez boya [lbf]	50000		10000		50000	



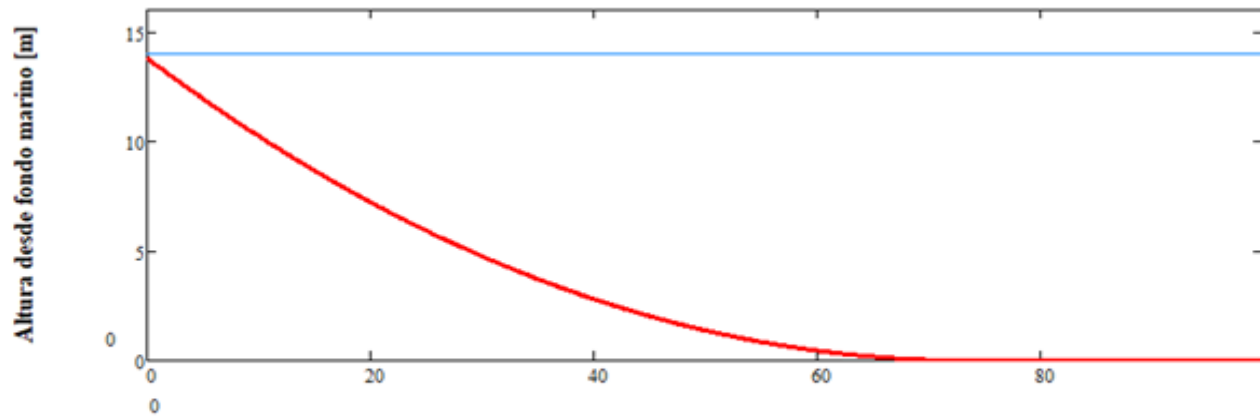
DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE FONDEO – BOYA N°1



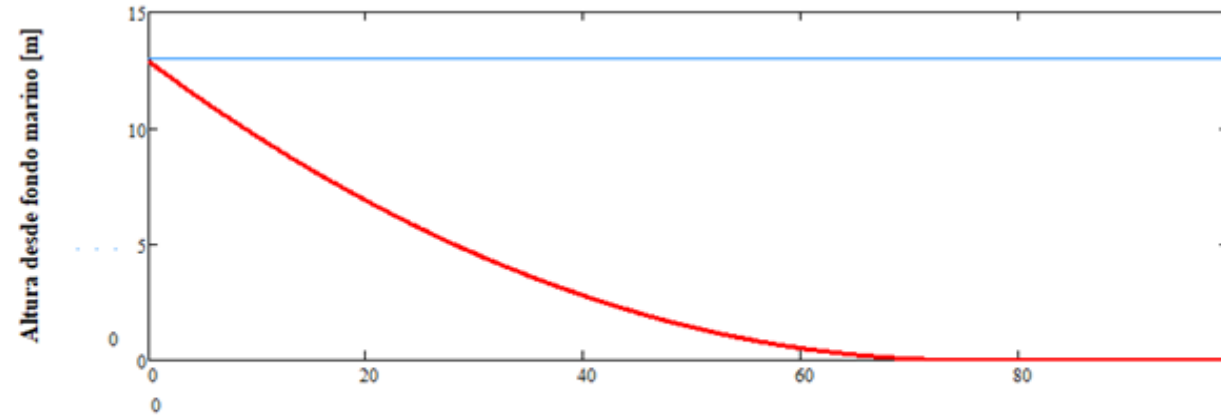


CATENARIA SUSPENDIDA BAJO CARGA MÁXIMA – BOYAS 1-2-3

Catenaria de cadena suspendida Boya N°1



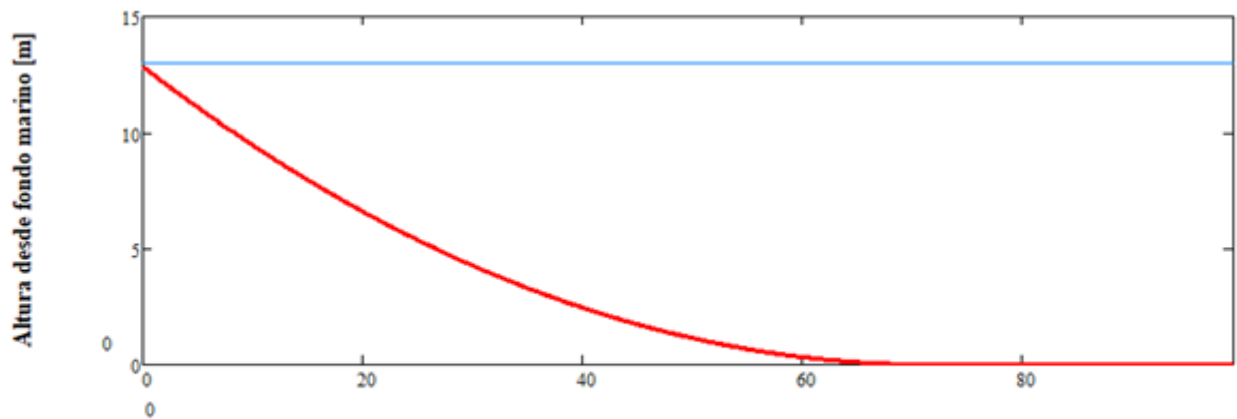
Catenaria de cadena suspendida Boya N°3



Distancia desde unión de cadena con boya [m]

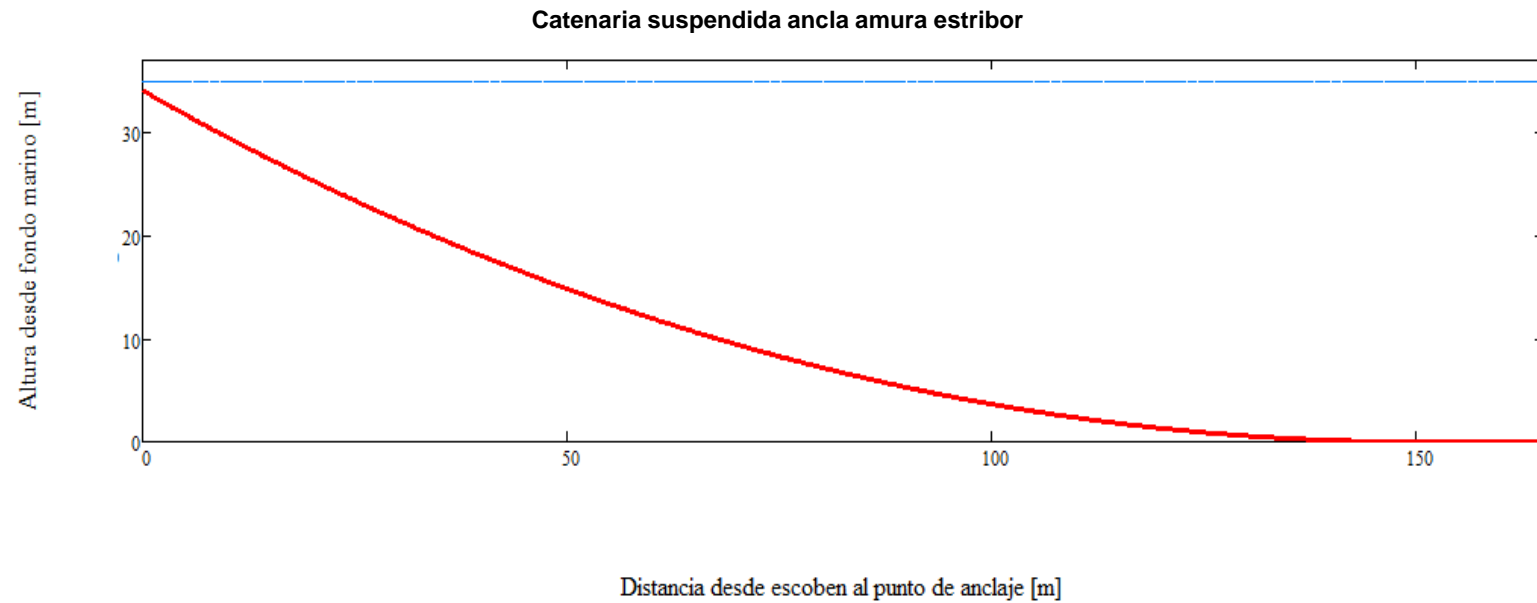
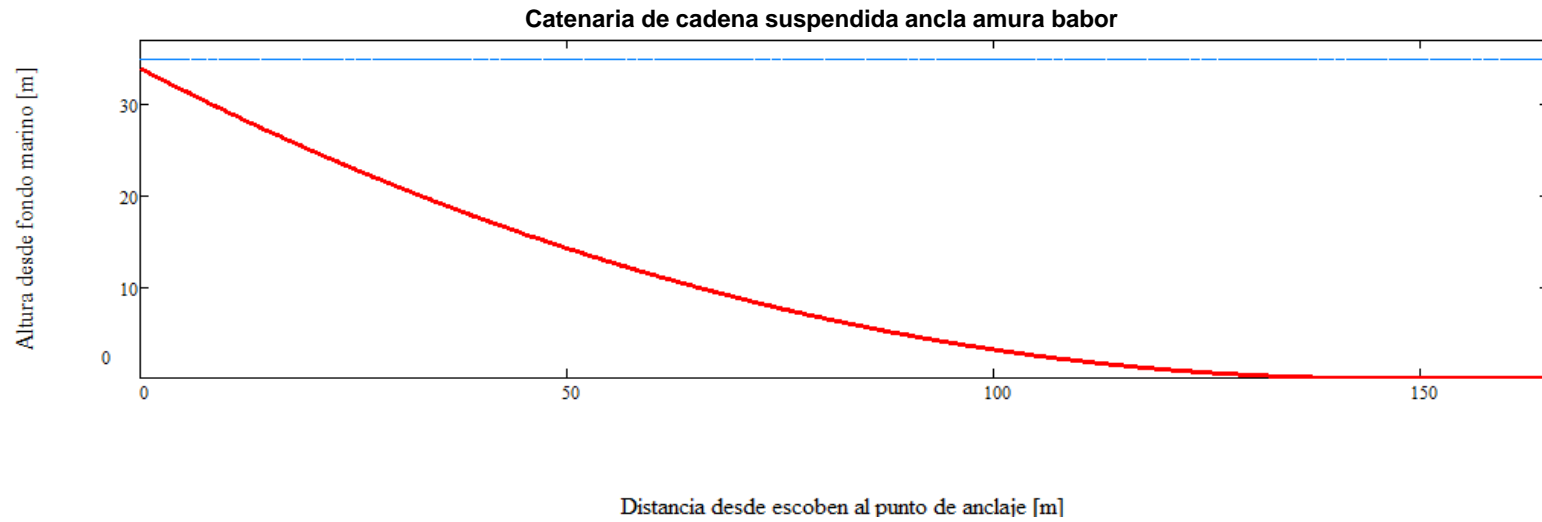
Distancia desde unión de cadena con boya [m]

Catenaria de cadena suspendida Boya N°2



Distancia desde unión de cadena con boya [m]

CATENARIA SUSPENDIDA BAJO CARGA MÁXIMA – ANCLAS 1 Y 2



DISEÑO DE LÍNEA DE TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO

CARACTERÍSTICAS CAÑERÍAS SUBMARINAS RÍGIDAS

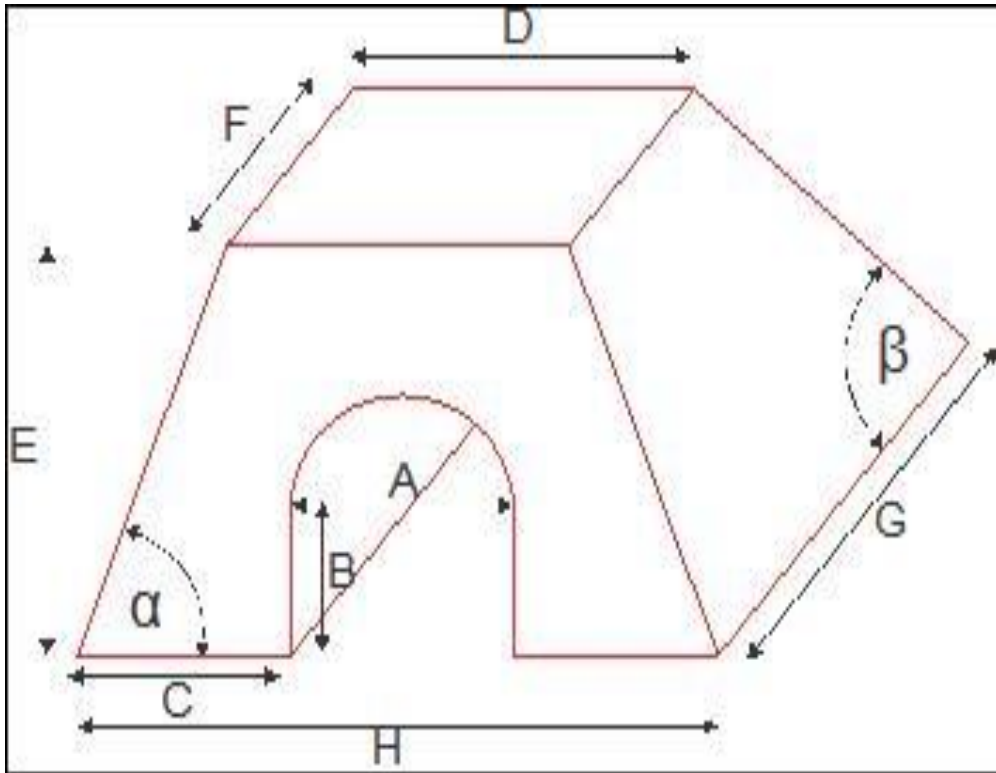
Cañería	Tipo de acero	Largo [m]	Diametro externo [pulg]	Espesor de pared [mm]	Peso [kgf/m]
Norte	ASTMA 53/106 SCH.40/Gr B	487	14	11.1	94.204
Sur	ASTMA 53/106 SCH.40/Gr B	487	14	11.1	94.204



- La cañería sur se utilizará para transferencia de combustibles pesados Clase III: Petróleos Combustibles, PC N°6, PC N°5, IFOs, mientras que la línea norte se para transferencia de Combustibles Livianos Clase I: Gasolina 93 Octanos, Gasolina 97 Octanos y Combustibles Livianos Clase II: Petróleo Diésel, Kerosene.
- El trazado de dichas cañerías se contempla desde la zona intermareal donde serían conectadas con el proyecto terrestre hasta la altura del manifold del buque tanque, cercano al veril de los 30 [m] de profundidad.

DISEÑO DE MUERTOS DE FIJACIÓN

DIMENSIONES DEL MUERTO DE FIJACIÓN

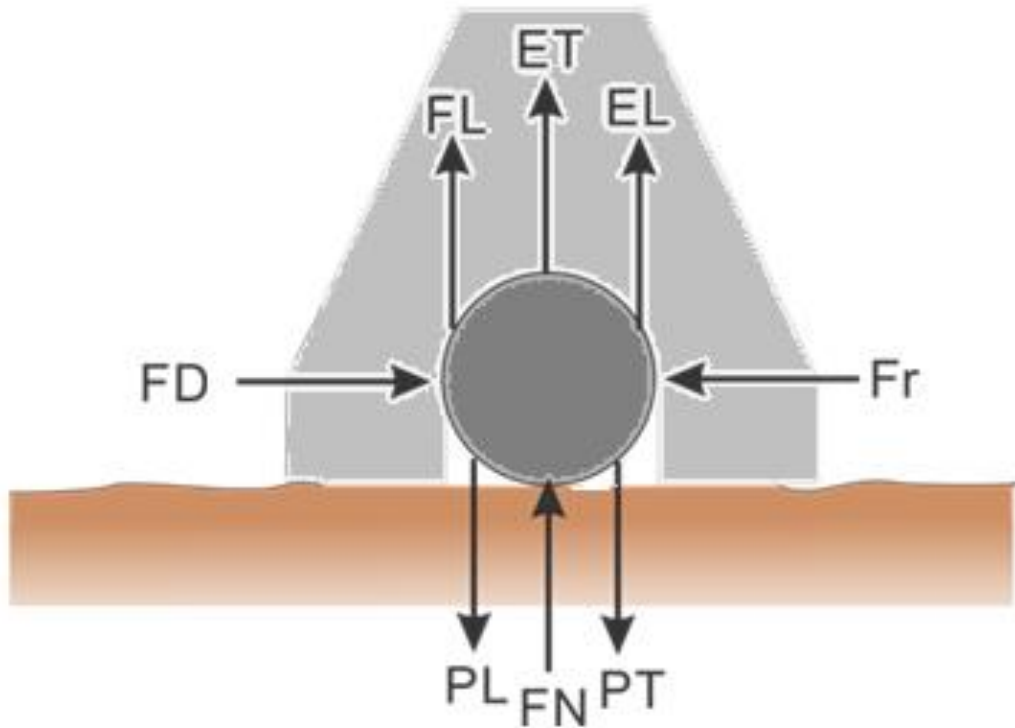


A	0.42	m
B	0.42	m
C	0.42	m
E	0.98	m
D	0.54	m
F	0.65	m
G	1.36	m
H	1.25	m
α	70	°
β	70	°

Volumen tronco piramidal	0.92	m3
Volumen cilindro interior	0.25	m3
Volumen total	0.67	m3
Peso muerto (PL)	1.7	tonf
Empuje muerto (EL)	0.69	tonf

DISTANCIAMIENTO DE LOS MUERTOS DE FIJACIÓN

Diagrama de cuerpo libre cañería-muerto de fijación



$$S_{Max} = \frac{PL - EL}{FS \left(FL + \frac{FD}{\mu} \right) + ET - PT}$$

Dónde:

PL =Peso del muerto de fijación [tonf]

EL =Empuje del muerto de fijación [tonf]

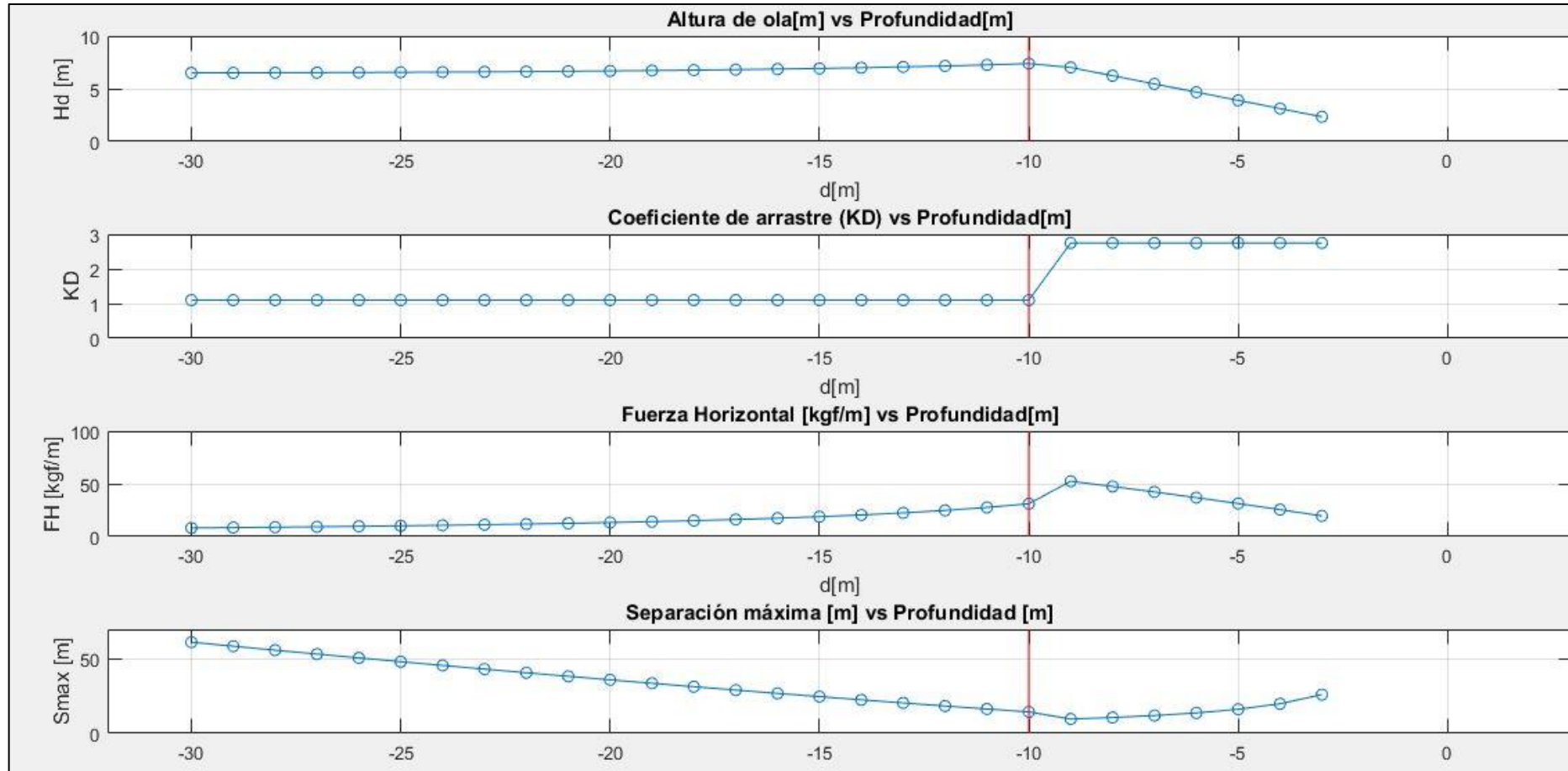
FL = Fuerzas de levante en la cañería [tonf/m]

FD = Fuerzas horizontales en la cañería [tonf/m]

FS = Factor de seguridad considerado = 1.2

μ = Coeficiente de roce = 0.75 (OCDI, 2002)

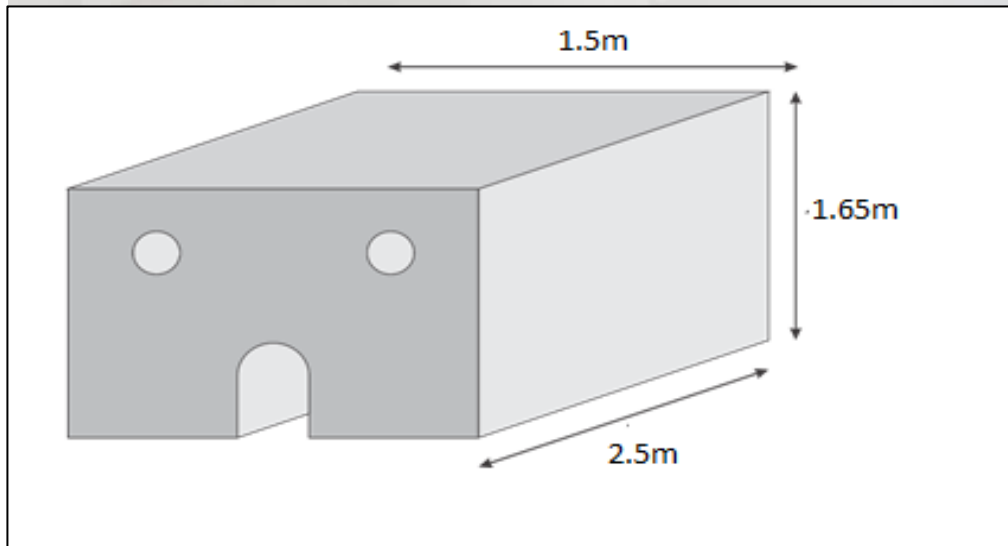
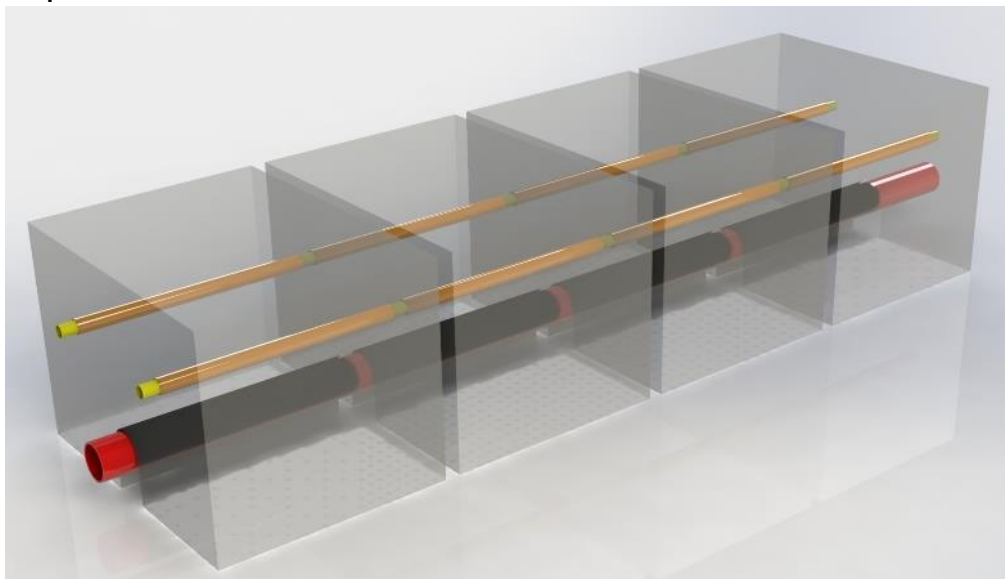
RESUMEN GRÁFICO DE CARGAS CONSIDERADAS



Profundidad d (m)	Smax (m)
30	61
29	59
28	56
27	53
26	51
25	48
24	46
23	43
22	41
21	38
20	36
19	34
18	31
17	29
16	27
15	25
14	23
13	20
12	18
11	16
10	14
9	10
8	11
7	12
6	14
5	16
4	20
3	26

DEFINICIÓN MUERTOS DE TÉRMINO

Esquema sistema de elementos de término



Tipos de fallo PLEM

Giro por levante

$$FS1 := \frac{W_m}{2 \cdot FS \cdot T_R \cdot \sin(\theta)} = 1.361$$

Levante

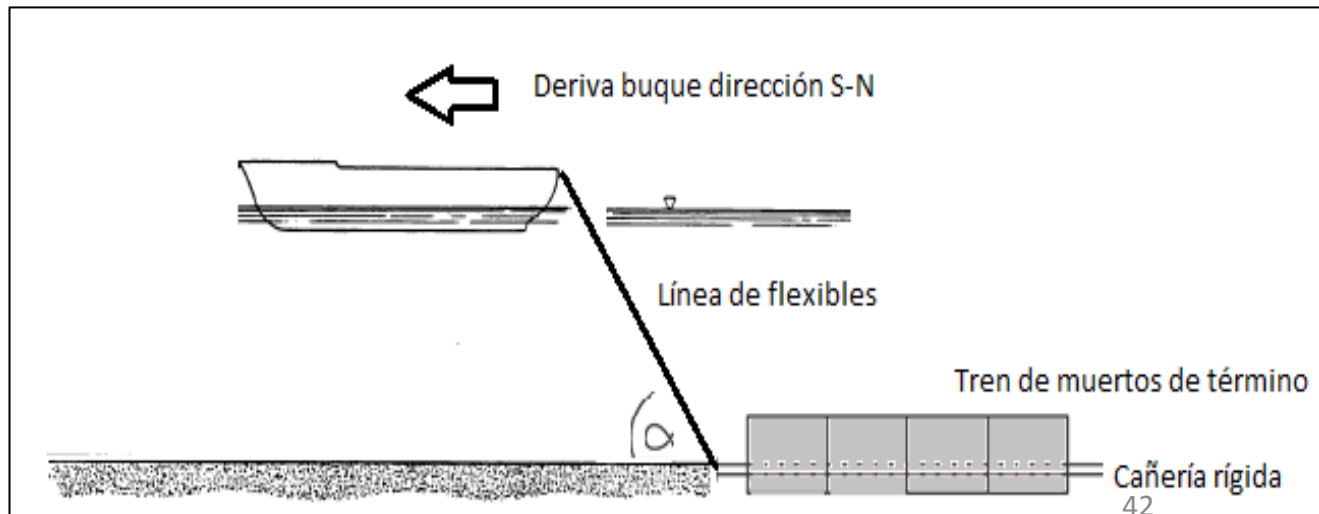
$$FS2 := \frac{W_m}{FS \cdot T_R \cdot \sin(\theta)} = 2.722$$

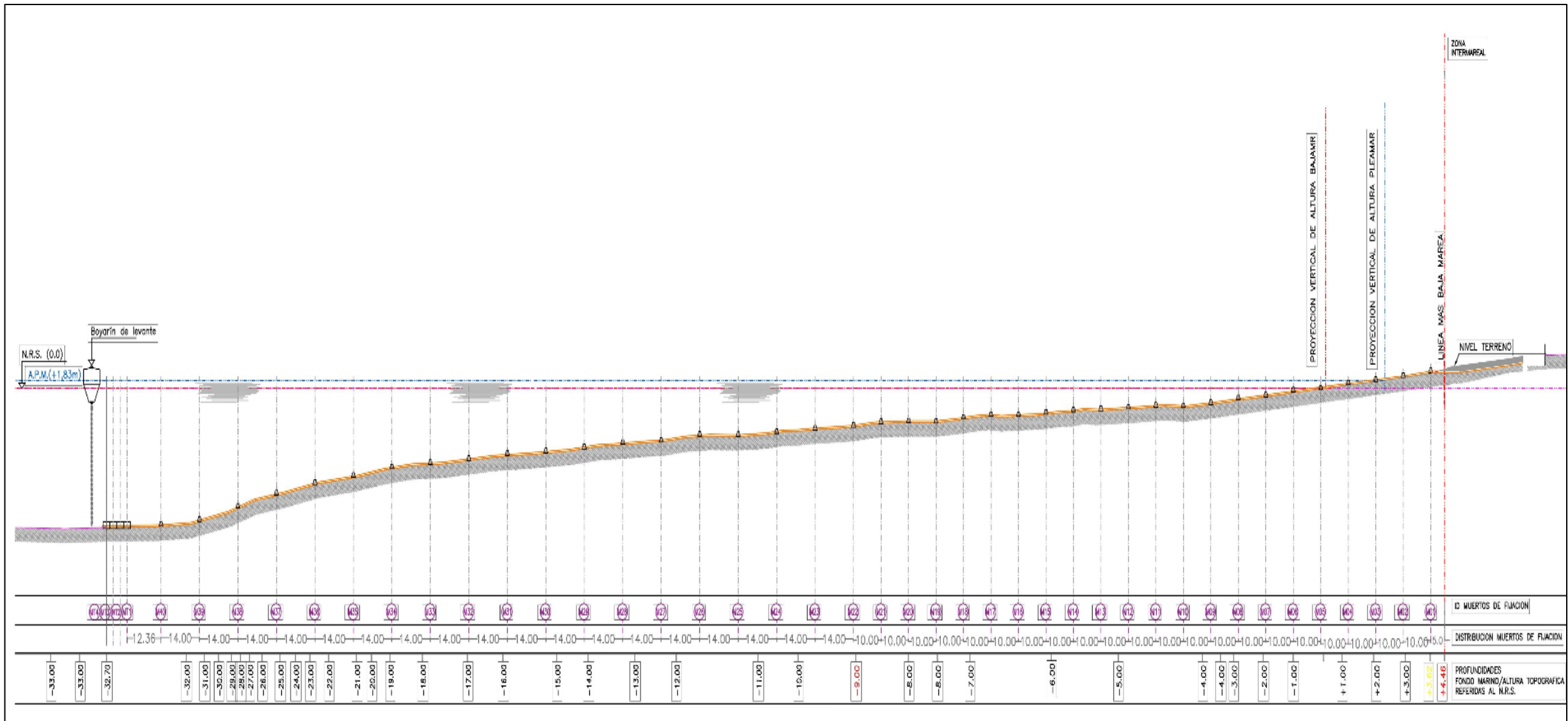
Giro por deslizamiento

$$FS3 := \frac{(W_m - FS \cdot T_R \cdot \sin(\theta)) \cdot \mu}{2 \cdot FS \cdot T_R \cdot \cos(\theta)} = 1.027$$

Deslizamiento

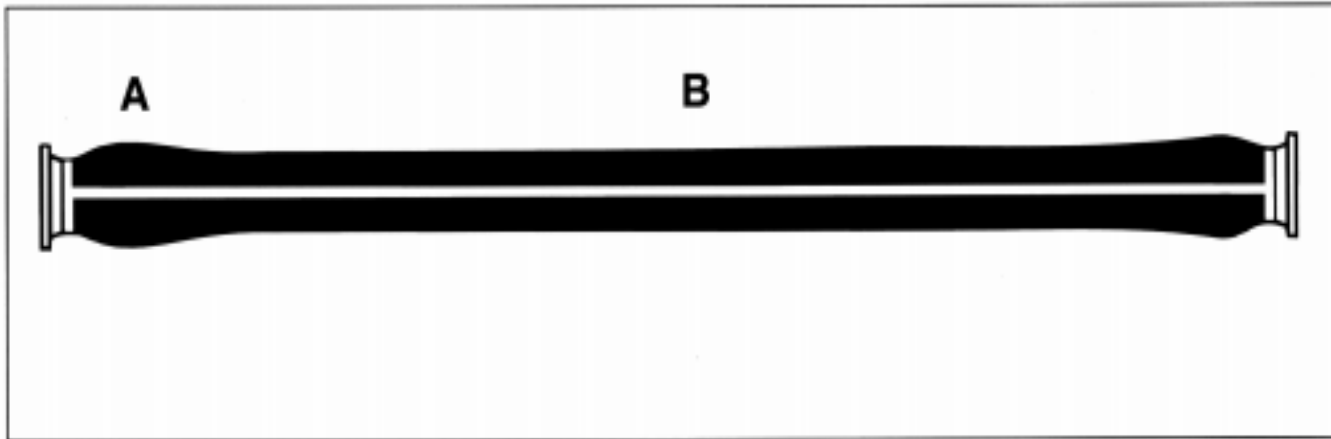
$$FS4 := \frac{(W_m - FS \cdot T_R \cdot \sin(\theta)) \cdot \mu}{FS \cdot T_R \cdot \cos(\theta)} = 2.055$$





CAÑERÍAS FLEXIBLES

MAINLINE 512



Hose Bore (in/mm)		Approx. Dimensions (mm)		Weight in air empty (kg)		Weight in air full of sea water (kg)		Underwater weight full of sea water (kg)	
Nominal	Actual	A	B	9.1m	10.7m	9.1m	10.7m	9.1m	10.7m
6in 150mm	6in 152mm	302	211	342	383	512	583	141	154
8in 200mm	8in 203mm	362	269	488	548	790	904	203	224
10in 250mm	10in 254mm	417	326	684	769	1157	1325	313	344
12in 300mm	12in 305mm	472	380	830	932	1511	1732	377	413
16in 400mm	15.25in 387mm	559	468	1183	1327	2282	2619	587	643
20in 500mm	19.25in 489mm	677	579	1796	2013	3547	4072	973	1066
24in 600mm	23.25in 591mm	807	690	2478	2771	5033	5775	1376	1505

En base a la metodología de OCIMF (2010) se determinó que cada cañería submarina tendrá un total de 8 flexibles de 10.7 [m] cada una.

DEFINICIÓN DEL BOYARÍN DE LEVANTE

LISTADO GENERAL ELEMENTOS, BOYARIN DE LEVANTE LINEA Ø14" NORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PESO UNITARIO (kgf)	PESO TOTAL(kgf)
Boyarín de levante, 1.500 lt	un	1	87	87
Grillete D Ø3/4" (D Shackle); Grado 2	un	4	0.8	3.2
Detorcedor Ø3/4" (Giratorio); Grado 2	un	1	0.8	0.8
1 Paño cadena Ø3/4" con mallete y eslabones de término alargados; Grado 2	ml	27.5	9	247.5
Tramo cadena Ø3/4" con mallete Grado 2	ml	11.5	9	103.5
			TOTAL	442

LISTADO GENERAL ELEMENTOS, BOYARIN DE LEVANTE LINEA Ø14" SUR				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PESO UNITARIO (kgf)	PESO TOTAL(kgf)
Boyarín de levante, 1.500 lt	un	1	87	87
Grillete D Ø3/4" (D Shackle); Grado 2	un	4	0.8	3.2
Detorcedor Ø3/4" (Giratorio); Grado 2	un	1	0.8	0.8
1 Paño cadena Ø3/4" con mallete y eslabones de término alargados; Grado 2	ml	27.5	9	247.5
Tramo cadena Ø3/4" con mallete Grado 2	ml	11.5	9	103.5
			TOTAL	442

- Volumen Exterior 1500 Lts
- Cáncamos metálicos superior e inferior Ø25 mm
- Cubierta exterior polietileno HDPE rotomodelado
- Espesor cubierta 9mm (promedio)
- Componentes metálicos galvanizados en caliente
- Fabricada en Polietileno MAD
- Inyectada en Poliestireno expandido de 18 Kg/m³
- Cubierta exterior estanca, aditivo Anti-Uv

MEDIDAS

Diámetro Central : 1.350 mm
 Alto : 1.664 mm
 Peso Total : 87 kg



CONCLUSIONES

Respecto al análisis de condiciones naturales

- El clima medio de oleaje en el sitio de interés, se caracterizó por ser en mayor porcentaje proveniente de las direcciones WNW con un 81.03 % y del NW con 11.24%, con alturas de olas concentradas entre 0 a 0.5 [m] con un porcentaje de ocurrencia de 68.16% y rangos de altura entre 0.5 a 1.0 [m] con un 16.36%. Con respecto al periodos peak en los intervalos de 13 a 15 [s], se observó una frecuencia del 44.42 %, y en rangos de periodos entre 11 a 13 [s], con una frecuencia del 35.8 %.
- Con respecto al análisis de clima extremo en el sitio de interés, se definió una altura de ola con un umbral de 4.5 [m] mediante el método POT, donde se identificaron 29 tormentas. La mejor distribución a utilizar resultó ser la distribución Weibull $k=1$, con un 94.09 % de coeficiente de determinación, con la cual se obtuvo una altura de ola de 7.31 [m] con un período de retorno de 100 años.
- Del estudio estadístico de vientos obtenido mediante el modelo numérico WRF perteneciente FCMC (2012), se observó que el mayor porcentaje de direcciones de vientos proviene de las direcciones S, SW, SSW con un 52.23% del total de la estadística, y vientos entre 1 a 10 Nudos con un 90.72 %.
- Referente a las corrientes según el estudio realizado por la firma Geomar el año 2003 los resultados indican un predominio de las direcciones asociadas al 1er y 2do cuadrante hacia el Este, con magnitudes entre 1 y 7 [cm/s] en el correntómetro superficial y entre 1 y 5 [cm/s] para el correntómetro profundo. En las mayores velocidades predominan las direcciones Este, Noreste y Weste con magnitudes sobre 15 [cm/s] en la superficie

Respecto al downtime operacional

- Para el downtime operacional por oleaje se definió un umbral de operación alturas de ola de hasta 1.5 [m] según OCIMF (2010), donde se recomienda operaciones de atraque y desconexión restringidas por este límite de oleaje para terminales multiboya.
- El downtime operacional por oleaje sería de 10%, lo cual sería un porcentaje aceptable por lo que conlleva los altos costos de inoperancia según Thorensen (2003).
- Respecto al downtime operacional por viento, se utilizó la recomendación de ROM (2000) para operación de terminales multiboya donde se una velocidad absoluta del viento de 10 [m/s] (20 Nudos). Sin embargo, por efectos de seguridad del terminal marítimo, se consideró una velocidad de operación por viento de 7.5 [m/s] (15 Nudos). Con este umbral de operación se obtuvo un downtime operacional por viento menor al 1%, lo que se considera un tiempo inoperativo por viento bajo, lo cual indica que sólo se debe tener precaución en casos de que haya rachas de sobre los 20 Nudos.
- En el downtime operacional por corriente se definió una velocidad límite de 0.5 [m/s] según ROM (2012). Sin embargo, por efectos de seguridad del terminal marítimo, se determinó una velocidad de operación de 0.26 [m/s] o 0.5 [nudos]. Con esto se obtuvo un downtime operacional de 1.32%, el cual se considera un porcentaje de tiempo de inoperatividad bajo y aceptable para realizar operaciones de carga y descarga de productos.

Respecto al layout del proyecto

- Se definió un sistema de amarre convencional (CBM) con 3 boyas de amarre a popa y 2 anclas a proa mediante una matriz de selección de alternativas por el método AHP, la cual resultó ser la más económica y factible en términos de construcción.
- Tomando en consideración que el downtime operacional de oleaje (10%) es mucho mayor al downtime operacional por vientos (1%) y corrientes (1%), el buque se orientó con la proa apuntando a la dirección predominante de oleaje del WNW (292.5°). De esta manera el buque ofrece una menor área al embate del oleaje, enfrentando la ola de incidencia.
- Se definió que el buque tanque se emplazaría a una profundidad cercana a los 30 [m] (profundidad a la cual se ubicaría el manifold del buque a la mitad de su eslora) respecto al NRS, para que la nave tenga una mayor libertad para realizar movimientos transversales y longitudinales para maniobrar. La profundidad mínima requerida del buque tanque según el UKC calculado es de 16.5 [m] NRS, profundidad máxima a la cual el buque debe ubicar la popa.
- El rumbo de las cañerías rígidas se definió a partir del promedio direccional del análisis de clima extremo del oleaje (dirección 312° respecto al norte), para que el ángulo en que el oleaje golpea la cañería se vea reducido en casos de temporal.

Respecto al sistema de fondeo de la nave

- El fondeo y amarre de los elementos debe resistir al menos lo que se indica a continuación: Boya aleta estribor al menos 32.4 [tonf], Boya popa al menos 4.9 [tonf] y Boya aleta babor al menos 34.3 [tonf]. Para resistir tales cargas, se realizó un diseño con muertos de fijación tipo “Wedge” verificando que cada pernada de trabajo resiste a las cargas de diseño con un factor de seguridad $FS=1.5$, según recomendación OCIMF (2010).
- Con respecto a los resultados presentados en el cálculo de fondeo por amura o anclajes propios del buque a proa, estos deben resistir al menos de 42.3 [tonf] y 43 [tonf], por la banda de estribor y babor respectivamente.
- Conforme a los datos obtenidos del General Arrangement del buque tanque, este tiene 2 anclas tipo Standard Stockless Halls de 11 [tonf] con cadenas de anclaje de 13 paños o 325 [m]. Se verificó mediante el procedimiento según NAVFAC (2012) que el anclaje a babor resiste 75.56 [tonf] y el anclaje a estribor resiste 75.59 [tonf]. Se confirmó que las anclas deben ser fondeadas con 6 paños de cadena.
- A partir de todos los cálculos obtenidos en el ANEXO E, se puede apreciar que para todas las boyas a popa y anclajes a proa se forma un ángulo menor a 2° entre cadena/muerto y cadena/ancla, por lo cual se verifica que los anclajes funcionan con máxima eficiencia.
- Los resultados del presente estudio indican que el fondeo y amarre a las boyas proporcionan un comportamiento seguro de la nave ante las condiciones de viento, corrientes y olas consideradas. Cabe mencionar que todos los resultados anteriormente descritos fueron de acuerdo con las condiciones oceanográficas definidas de corriente 0.5 Nudos, olas de $H_s=1.5$ [m], $T_p=13$ [s] y dirección $22^\circ.5$ respecto a la línea de crujía del buque. Para los vientos se consideró como criterio conservador rachas de vientos de 30 nudos (15.44 [m/s]).

Respecto al sistema de transferencia de carga

- Se definió para el presente proyecto dos cañerías rígidas de acero para transferencia de productos, una para productos livianos y la otra para productos pesados del tipo Schedule 40 según la normativa de Decreto 160 (2009), las cuales se denominaron cañería norte y cañería sur. Ambas cañerías tienen un largo aproximado de 487 [m] de longitud y un diámetro de $\Phi 14''$, las cuales son protegidas con protección pasiva mediante una capa de fibra de vidrio anticorrosiva de 6 [mm] de espesor.
- Respecto a la línea de flexibles, se definió para cada línea de cañerías un flexible de tipo SUBMARINE MAINLINE STANDARD OCIMF 1991 512 marca Dunlop de $\Phi 12''$ de diámetro. Cada uno poseerá una válvula break away, cuya función es impedir un derrame de proporciones en el mar. Esto puede ocurrir en un sistema de descarga o carga de hidrocarburos, si por cualquier causa se somete a la parte submarina a soportar un gran esfuerzo, como podría ser el producido porque el buque tanque se larga sin desconectar los flexibles. En tal caso la válvula break away se activará automáticamente para evitar incidentes.
- Ambas líneas de flexibles serán de 80 [m] de largo, en las cuales se amarra un boyarín de levante para poder operar y conectar al manifold del buque tanque.

Respecto al sistema de fijación de las cañerías rígidas submarinas

- Tanto la cañería norte como la cañería sur dispondrán de un total de 40 muertos de fijación tipo tronco piramidal con un peso seco aproximado de 1.7 [tonf] contabilizados desde la zona intermareal a 5 [m] de la línea de más baja marea, hasta una distancia de 12.36 [m] del muerto de término número uno.
- La separación de los muertos de fijación será en función de la profundidad de la cañería respecto del fondo marino en el cual irá apoyada. La separación será cada 14 [m] entre el veril de 10 [m] hasta el término del rígido. Para zonas de rompiente las cuales están entre los veriles 9 y 3 [m] la separación entre muertos es de 10 [m].
- El sistema de anclaje de la cañería al fondo marino, determinado tanto por el dimensionamiento de los muertos como por su distanciamiento, es suficiente para resistir las sollicitaciones externas consideradas y basadas en condiciones extremas de mal tiempo con un período de retorno de oleaje de 100 años. La vida útil esperada de las obras es de 25 años según ROM 3.1-99 (2000).
- Para permitir la correcta operación de la válvula Break Away en la línea de flexibles, se diseñó un sistema de elementos de término basado en muertos de hormigón armado. El sistema considera cuatro muertos para cada cañería rígida unidos mediante cañerías de acero de 6 pulgadas de diámetro dispuestas de tal forma de generar una conexión rígida. Cada muerto tiene un peso seco de 14.08 [tonf]. Este sistema asegura una correcta operación de la válvula Break Away para cualquier dirección de deriva del buque. Los muertos serán de hormigón armado H-30, con un 90% de nivel de confianza.

Respecto al boyarín de levante de cañerías flexibles

- El boyarín de levante o izaje tiene el propósito de mantener a flote los extremos de los cabos de amarre y cadenas de levante a una distancia prudente durante las maniobras. A su vez este elemento permite izar los flexibles para conexión con el manifold de la nave para el trasvasije de productos.
- Se definió un boyarín de levante para cada flexible, los cuales tienen un volumen de 1500 litros y se realizó la verificación de capacidad de flotación, por lo que se comprobó que son útiles para utilizar en el presente proyecto.



Universidad
de Valparaíso
CHILE



THANK YOU

GRACIAS
ARIGATO
SHUKURIA
JUSPAXAR
DANKSCHEEN
TASHAKKUR ATU
SUKSAMA
EKHMET
MEHRBANI
PALDIES
BOLZİN
MERCİ
BIYAN
SHUKRIA
TINGKI
YAQHANYELAY
TASHAKKUR ATU
SUKSAMA
EKHMET
MEHRBANI
PALDIES
BOLZİN
MERCİ
GRACIAS
ARIGATO
SHUKURIA
JUSPAXAR
DANKSCHEEN
TASHAKKUR ATU
SUKSAMA
EKHMET
MEHRBANI
PALDIES
BOLZİN
MERCİ
BIYAN
SHUKRIA
TINGKI
YAQHANYELAY
TASHAKKUR ATU
SUKSAMA
EKHMET
MEHRBANI
PALDIES
BOLZİN
MERCİ