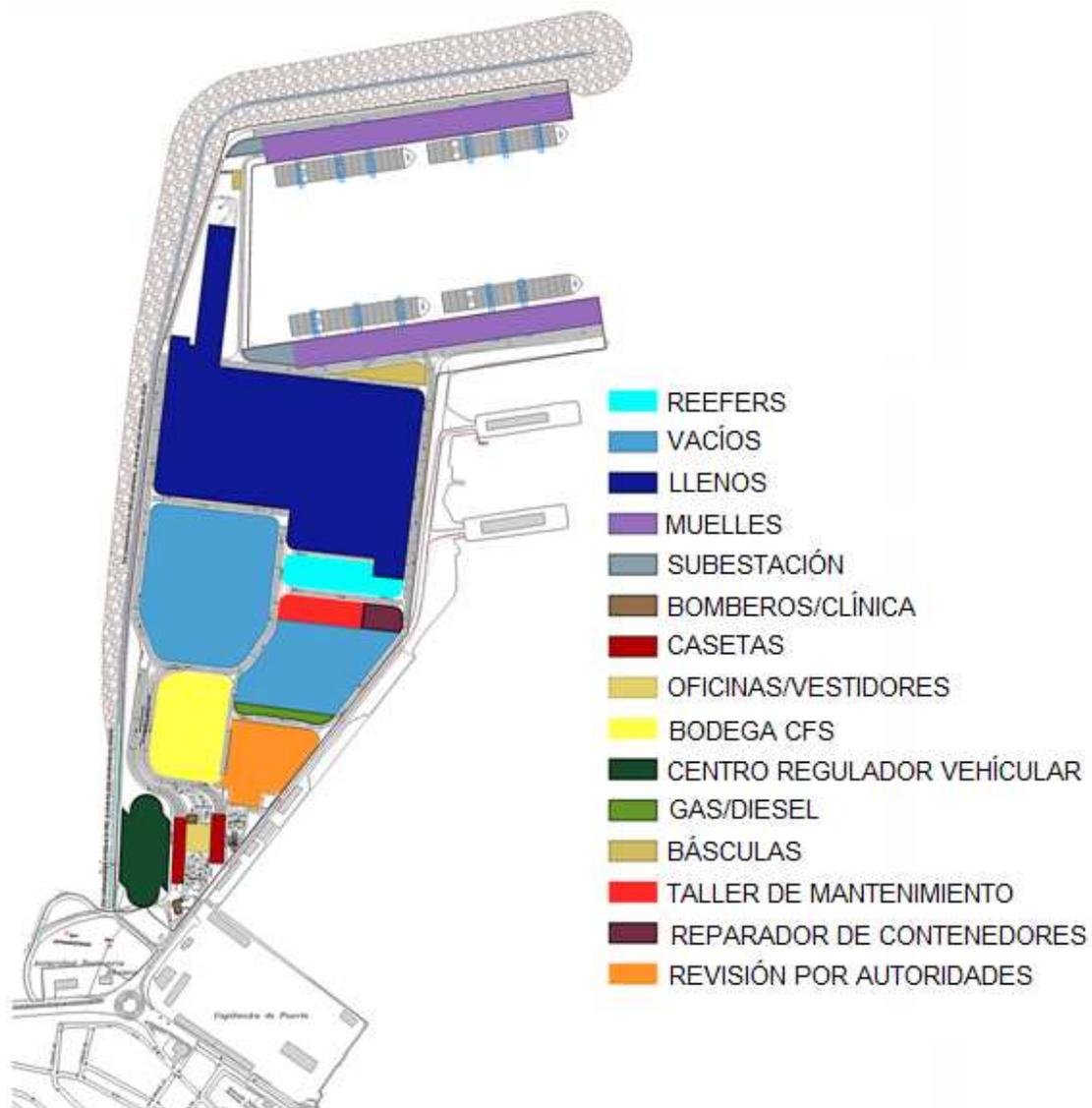


6. Diseños preliminares de las diferentes componentes portuarias

6.1 Distribución conceptual

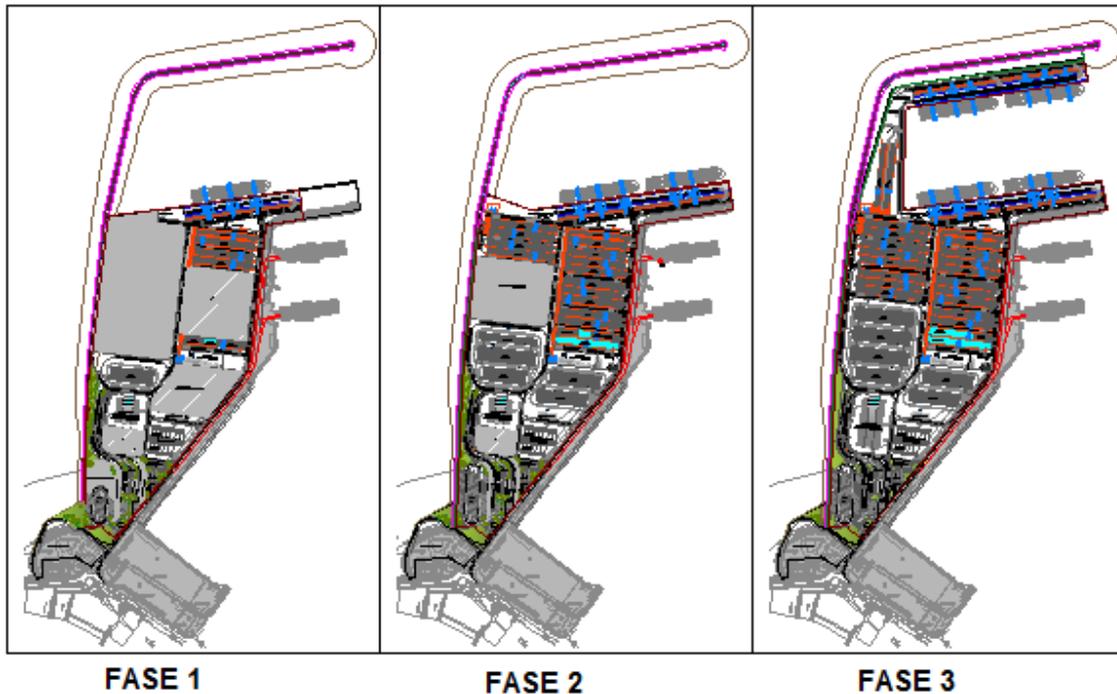
En la siguiente figura se muestra la distribución de las diferentes instalaciones del puerto en la zona de tierra.

Figura 57 Distribución conceptual de la propuesta 7
(Fuente: Propia)



El crecimiento de la alternativa seleccionada (propuesta 7) será en 3 fases.

Figura 58 Fases de crecimiento de la propuesta 7
(Fuente: Propia)



En términos generales la fase 1 de desarrollo se integrará de lo siguiente:

- Rompeolas de aproximadamente 2.300 m
- Muelle especializado de 400 m de longitud
- Dragado a una profundidad de -16 m referidos al MLWS
- Retención de rellenos (tablestacado)
- Rellenos a la cota +4 m referidos al MLWS
- Patios para almacenaje de contenedores en un área aproximada de 7,4 hectáreas para llenos, vacíos y refrigerados y revisión por autoridades
- Taller de mantenimiento de equipo portuario y estación de combustible para autoconsumo
- Bodega de consolidación y desconsolidación de carga en aproximadamente 1.800 m
- Bodega para revisión de carga refrigerada en aproximadamente 750 m²
- Accesos a la terminal para vehículos pesados (2 casetas de entrada y 2 casetas de salida) y ligeros en forma independiente
- Oficinas para personal administrativo en aproximadamente 750 m²
- Oficinas para personal operativo, vestidores y oficinas para Autoridades con cobertizo para revisiones

- Estación de bomberos y clínica
- Estacionamiento para vehículos pesados con capacidad para 54 espacios
- Instalaciones generales de apoyo a las operaciones integrales del puerto (hidrosanitarias, pluviales, eléctricas, contraincendio, básculas, revisión, seguridad y comunicaciones)

La fase 2 incluye:

- Extensión de 200 m del muelle para llegar a una longitud total de 600 m
- Patios para almacenaje de contenedores en un área aproximada de 12,9 hectáreas para llenos, vacíos y refrigerados.

La fase 3 contempla lo siguiente:

- Muelle de 400 m de longitud
- Patios para almacenaje de contenedores en un área aproximada de 48,6 hectáreas para llenos, vacíos y refrigerados.

6.2 Obras de protección

La obra de protección consiste en un rompeolas que consta de 3 capas de material:

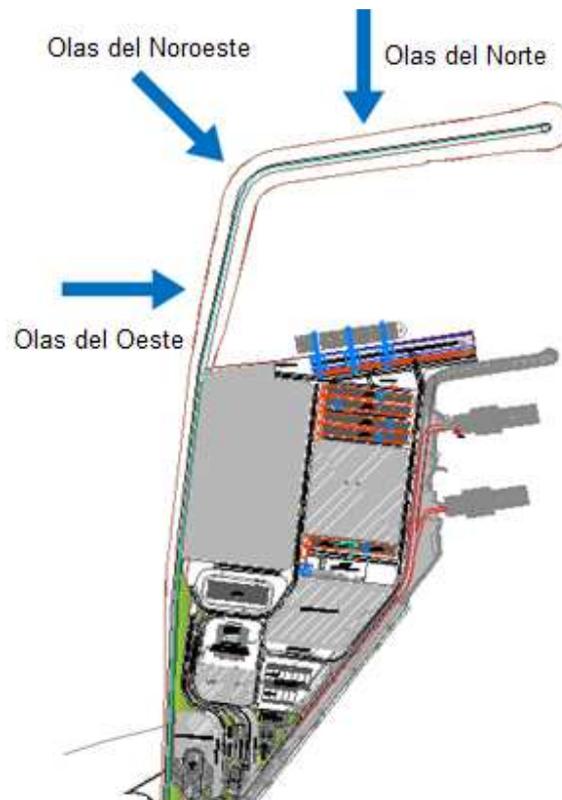
1. Núcleo, capa interna del rompeolas.
2. Capa Secundaria, capa inmediata al núcleo, conformada por rocas de mayor tamaño que el núcleo.
3. Coraza, capa superior del rompeolas. Esta capa se encuentra en contacto directo con el oleaje.

El talud del rompeolas de proyecto es 1,5:1 (H:V), debido a que el volumen es menor en comparación con un talud de 2,0:1 (H:V), aunque el peso de los elementos es mayor.

El rompeolas de proyecto está orientado de tal forma que provea protección a los barcos que se van a atracar, como también a los barcos de pesca amarrados en la Bahía Manta de las olas que se acercan desde el norte y el oeste.

En la siguiente figura se muestra la orientación del rompeolas y la dirección de las olas que inciden sobre éste.

Figura 59 Olas incidentes y rompeolas
(Fuente: Propia)



Criterios de diseño

El diseño de un rompeolas consiste en determinar los pesos y espesores de las capas que lo constituyen.

El cálculo se realizó utilizando las siguientes fórmulas:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_w}$$

$$W_{cs} = \frac{W}{10}$$

$$W_n = \frac{W}{200}$$

$$r = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3}$$

Donde:

W = Peso de cada unidad en la capa de coraza (ton)

γ_r = Peso específico de la unidad de coraza (2,3 ton/m³ para roca y 2,2 ton/m³ para elementos prefabricados, "Construction material sources for Manta sea port facilities expansion", 2007)

H = Altura de la ola de diseño (4 m)

$\cot \theta = 1,5$ (valor obtenido a partir del talud del rompeolas 1,5:1)

K_D = Coeficiente de estabilidad que varía principalmente con la forma de las unidades de la coraza, rugosidad y grado de interconexión logrado durante la construcción (Valores obtenidos de la tabla 7-8 "Shore Protection Manual", 1984)

$K_D = 2$ (considerando una ola rompiente para roca)

$K_D = 4$ (considerando una ola no rompiente para roca)

$K_D = 3,2$ (considerando una ola no rompiente para el morro con roca)

$K_D = 7$ (considerando una ola rompiente para tetrápodos)

$K_D = 8$ (considerando una ola no rompiente para tetrápodos)

$K_D = 6$ (considerando una ola no rompiente para el morro con tetrápodos)

S_r = Densidad relativa específica de la unidad de coraza (2,23 y 2,14 para roca y tetrápodos respectivamente)

γ_w = Peso específico del agua de mar (1,03 ton/m³)

W_{cs} = Peso de cada unidad en la capa secundaria (ton)

W_n = Peso de cada unidad en el núcleo (ton)

r = Espesor promedio de la capa (m)

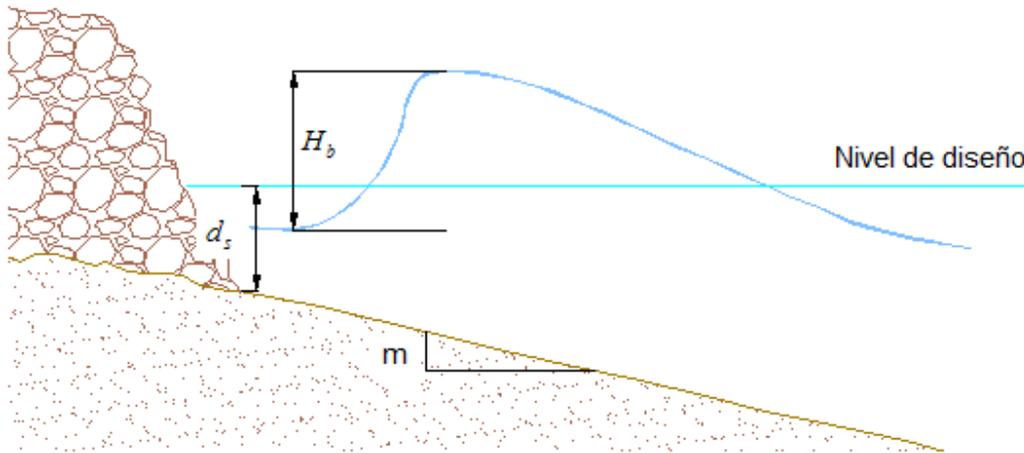
n = Número de elementos que componen la capa de coraza (2 obtenido de "Manual de Dimensionamiento Portuario", 1992)

k_A = Coeficiente de capa (1,15 y 1,02 para roca y tetrápodos, respectivamente. Valor obtenido de la tabla VI-5-51 "The Coastal Engineering Manual", 2001)

Otros valores necesarios

- a) Los siguientes valores fueron necesarios para realizar la revisión del rompeolas cuando una ola rompe sobre la cara de dicha estructura.

Figura 60 Esquema de una ola rompiente
(Fuente: Shore Protection Manual)



$$\frac{d_s}{gT^2}$$

$$\frac{H_b}{d_s}$$

$$(d_b)_{max} = \alpha H_b$$

$$(d_b)_{min} = \beta H_b$$

Donde:

d_s = Distancia del pie del rompeolas a la superficie libre del Nivel Medio de Bajamar de Sicigia (MLWS)

g = Aceleración gravitacional ($9,81 \text{ m/s}^2$)

T = Periodo de la ola de diseño (15 segundos)

H_b = Altura de rompiente

m = Pendiente del terreno (1% en promedio)

$(d_b)_{max}$ = Profundidad máxima a la cual puede romper la ola

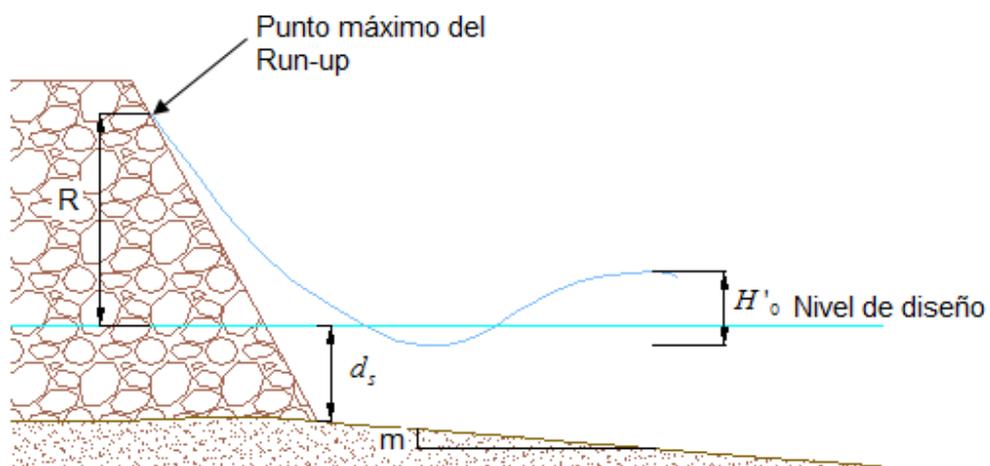
α = Coeficiente (obtenido de la figura 7-2 "Shore Protection Manual", 1984)

$(d_b)_{min}$ = Profundidad mínima a la cual puede romper la ola

β = Coeficiente (obtenido de la figura 7-2 "Shore Protection Manual", 1984)

- b) Los valores utilizados para cuando una ola no rompe, se presenta el fenómeno del Run-Up.

Figura 61 Esquema de definición de "Run-up"
(Fuente: Shore Protection Manual)



$$\frac{d_s}{L_0} = \frac{2\pi d_s}{gT^2}$$

$$\frac{H}{H'_0}$$

$$\frac{R}{H'_0}$$

$$r = \frac{\frac{R}{H'_0}(\text{Rugosa})}{\frac{R}{H'_0}(\text{Lisa})}$$

Donde:

π = Valor constante y adimensional (3,14)

d_s = Distancia del pie del rompeolas a la superficie libre del Nivel Medio de Bajamar de Sicigia (MLWS)

g = Aceleración gravitacional (9,81 m/s²)

T = Periodo de la ola de diseño (15 segundos)

H'_0 = Altura de ola sin considerar refracción

R = Run Up (señala el punto máximo en donde llega la ola cuando no rompe)

k = Factor de corrección (1,19 valor obtenido de la figura 7-13 "Shore Protection Manual", 1984)

r = Coeficiente que depende de las características de la superficie (0,45 valor obtenido de la tabla 7-2 "Shore Protection Manual", 1984)

$\frac{R}{H'_0}(\text{Lisa})$ = Coeficiente obtenido de las figuras 7-10 y 7-11 ("Shore Protection Manual", 1984)

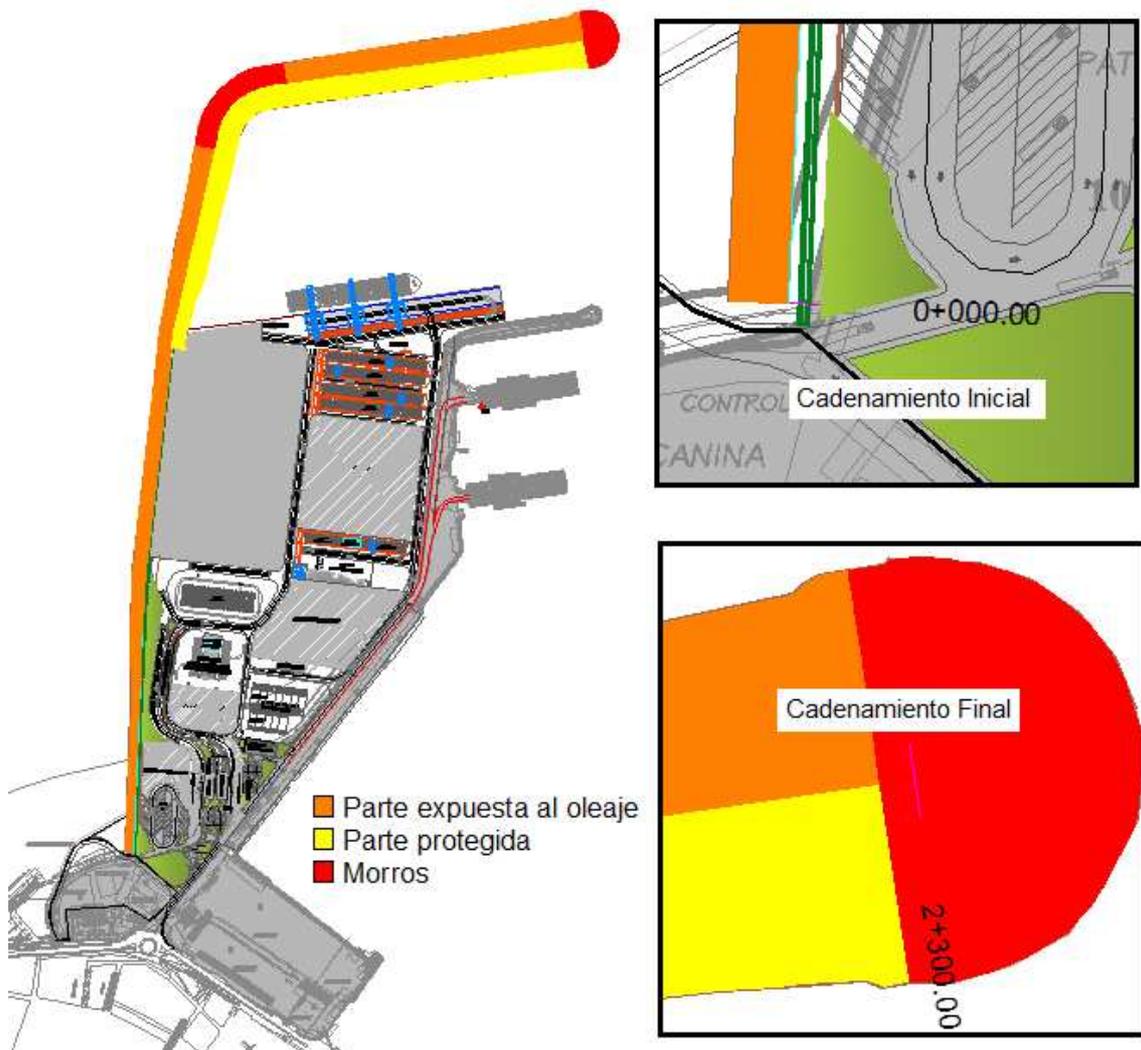
$\frac{R}{H'_0}(\text{Rugosa})$ = Valor con el cual se va a obtener el verdadero valor del Run-Up considerando la rugosidad de la superficie

Cálculos

Dado que las condiciones de oleaje no son las mismas dentro y fuera de la dársena, para el diseño del rompeolas se hicieron las siguientes consideraciones:

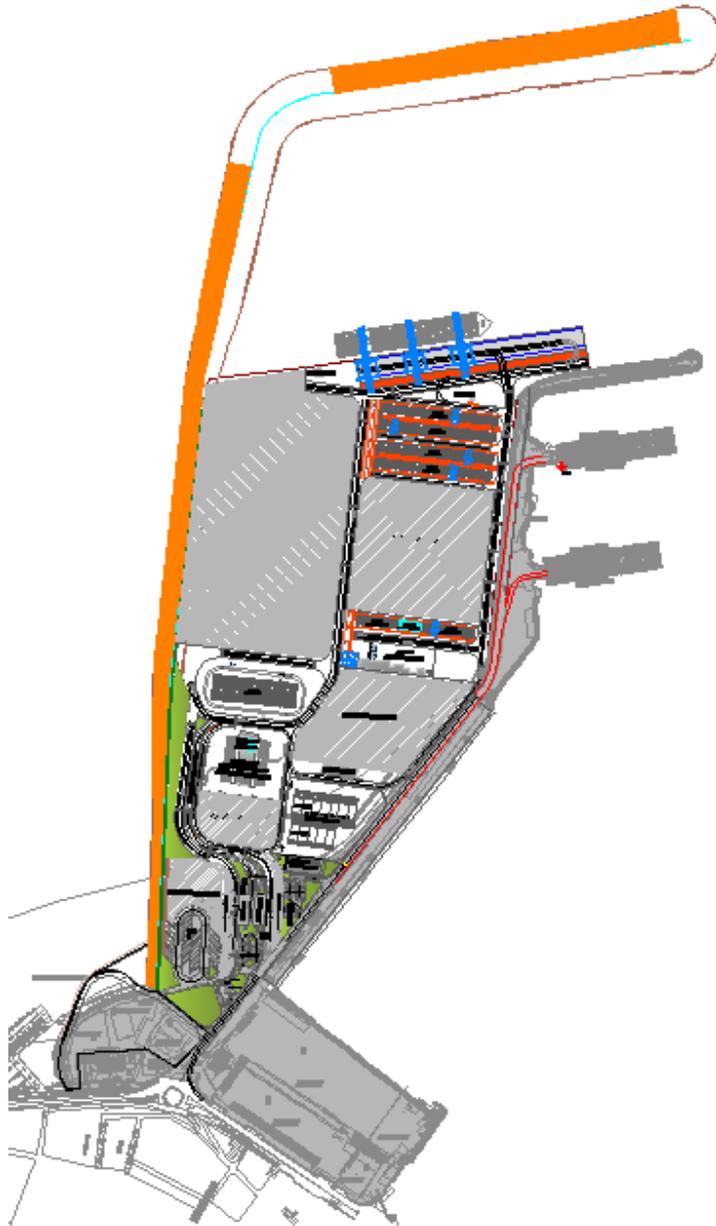
- Diseño del rompeolas para la parte expuesta al oleaje
- Diseño del rompeolas para la parte protegida
- Diseño para punto de inflexión y morro

Figura 62 Parte expuesta, protegida, punto de inflexión y morro del rompeolas
(Fuente: Propia)



a) Diseño para la parte expuesta al oleaje

Figura 63 Parte del rompeolas expuesta al oleaje
(Fuente: Propia)



Para el diseño del rompeolas en la parte expuesta al oleaje se consideró una altura de ola de 4 m y un periodo de 15 segundos.

Se hizo la revisión con las siguientes consideraciones de oleaje:

- I. Rompiente
- II. No rompiente

I. Rompiente

La zona del rompeolas que tiene que disipar mayor energía debida al oleaje, es aquella en la que rompen las olas sobre la estructura, pero además hay que considerar el fenómeno de marea astronómica (pleamar) y condiciones extremas (se considera el incremento por tormentas, elevaciones locales de niveles de agua y la elevación global del nivel del mar). De ahí la importancia de calcular la altura de rompiente (H_b).

La altura de rompiente depende del periodo de la ola y de la distancia entre el pie del talud a la superficie libre del Nivel Medio de Bajamares de Sicigia (MLWS).

Como el nivel de diseño es el Nivel Medio de Bajamar de Sicigia (MLSW) hay que aumentar la marea astronómica y las condiciones extremas (datos obtenidos de "Análisis de Condiciones Físicas, Viento, Oleaje, Corrientes y Niveles de Agua", 2007), entonces queda lo siguiente:

Condiciones Extrema = Incremento por tormentas + Elevaciones locales de niveles de agua + Elevación global del nivel del mar

Condiciones Extremas = 0,3 + 0,4 + 0,2

Condiciones Extremas = 0,9 m

MLWS + Pleamar + Condiciones Extremas = 0,00 + 2,96 + 0,9

MLWS + Pleamar + Condiciones Extremas = 3,86 m

La siguiente tabla muestra los resultados de las alturas de rompiente (considerando condiciones de pleamar y extremas) para diferentes profundidades referidas al MLWS (para los cálculos realizados se utilizó la figura 7-4 “Shore Protection Manual”, 1984):

Tabla 13 Resultados de alturas de rompiente

Batimétrica	d_s	$\frac{d_s}{gT^2}$	$\frac{H_b}{d_s}$	H_b
(m)	(m)	(adimensional)	(adimensional)	(m)
-26	29,86	0,0135	0,81	24,19
-25	28,86	0,0131	0,81	23,38
-24	27,86	0,0126	0,81	22,57
-23	26,86	0,0122	0,81	21,76
-22	25,86	0,0117	0,82	21,21
-21	24,86	0,0113	0,82	20,39
-20	23,86	0,0108	0,82	19,57
-19	22,86	0,0104	0,82	18,75
-18	21,86	0,0099	0,82	17,93
-17	20,86	0,0095	0,83	17,31
-16	19,86	0,0090	0,83	16,48
-15	18,86	0,0085	0,83	15,65
-14	17,86	0,0081	0,84	15,00
-13	16,86	0,0076	0,84	14,16
-12	15,86	0,0072	0,84	13,32
-11	14,86	0,0067	0,85	12,63
-10	13,86	0,0063	0,85	11,78
-9	12,86	0,0058	0,85	10,93
-8	11,86	0,0054	0,85	10,08
-7	10,86	0,0049	0,85	9,23
-6	9,86	0,0045	0,85	8,38
-5	8,86	0,0040	0,86	7,62
-4	7,86	0,0036	0,86	6,76
-3	6,86	0,0031	0,86	5,90
-2	5,86	0,0027	0,87	5,10
-1	4,86	0,0022	0,87	4,23
-0,8	4,66	0,0021	0,87	4,05
0	3,86	0,0017	0,87	3,36
1	2,86	0,0013	0,88	2,52
2	1,86	0,0008	0,88	1,64
3	0,86	0,0004	0,88	0,76
4	0,00	0,0000	0,89	0,00

De la tabla anterior se puede observar que para profundidades de 0,8 m (referidas al MLWS) se puede tener una distancia de 4,66 m entre el pie del rompeolas y la superficie libre del agua del MLWS (considerando condiciones de pleamar y extremas), lo que podría ocasionar que se presente la máxima ola esperada (ola de diseño de 4 m).

Cuando una ola rompe, no lo hace puntualmente; es decir, hay un rango de profundidades en las cuales se presente la rotura de la misma. Ese rango se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{4}{9,81 * 15^2}$$

$$\frac{H'_0}{gT^2} = 0,0018$$

Con la figura 7-3 ("Shore Protection Manual", 1984) y el valor 0,0018 se obtiene:

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,35$$

$$H_b = (1,35)(4)$$

$$H_b = 5,4 \text{ m}$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{5,4}{9,81(15^2)}$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = 0,0024$$

Con el valor 0,0024 y la figura 7-2 ("Shore Protection Manual", 1984) queda:

$$\alpha = 1,5$$

$$\beta = 1,19$$

Entonces la profundidad máxima a la cual puede romper la ola es:

$$(d_b)_{\text{máx}} = \alpha H_b$$

$$(d_b)_{m\acute{a}x} = (1,5)(5,4)$$

$$(d_b)_{m\acute{a}x} = 8,1 \text{ m}$$

La profundidad mínima en la cual la ola puede romper está dada por:

$$(d_b)_{m\acute{i}n} = \beta H_b$$

$$(d_b)_{m\acute{i}n} = (1,19)(5,4)$$

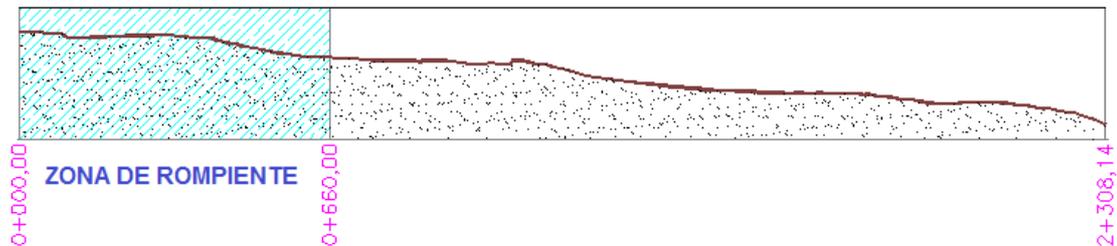
$$(d_b)_{m\acute{i}n} = 6,4 \text{ m}$$

A partir de la profundidad máxima y mínima de rompiente y la tabla de resultados de rompiente (considerando condiciones de pleamar y condiciones extremas), se tiene que la zona de rompientes es de la elevación -8,1 a la -0,8.

Por lo tanto el rompeolas se disen por rompiente desde el empotramiento hasta el cadenamamiento 0+660.

A continuación se muestra el perfil de la zona de rompiente.

Figura 64 Zona de rompiente
(Fuente: Propia)



Los pesos y espesores de las capas que conforman al rompeolas cuando se presenta una ola rompiente son los siguientes:

Tabla 14 Pesos y espesores para cuando la ola rompe

Altura de ola m	Peso		Espesor		Peso Núcleo ton
	Coraza ton	Capa Sec. Ton	Coraza m	Capa Sec. m	
4,00	26,18	2,62	5,17	2,40	0,131

Dado que los elementos de la coraza son muy grandes y probablemente sea difícil obtenerlos de los bancos de materiales, se propone utilizar elementos prefabricados (tetrápodos), el peso y espesor calculado para estos elementos es:

Tabla 15 Cálculo de elementos prefabricados para coraza cuando la ola rompe

Altura de ola m	Peso Coraza ton
4,00	9,15

Se presupone que se acepta un determinado número de daños en la estructura, por lo tanto se recomienda tetrápodos de 8,79 toneladas con un espesor de 2,65 m.

II. No rompiente

El análisis por no rompiente es solamente para profundidades mayores a 8,1 m (valor obtenido del análisis por rompiente considerando condiciones de pleamar y condiciones extremas). Por lo tanto el peso y espesor de las capas del rompeolas (en la zona expuesta al oleaje), para una altura de ola de diseño de 4 m y periodo de 15 segundos, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16 Pesos y espesores para cuando la ola no rompe

Altura de ola	Peso		Espesor		Peso
	Coraza	Capa Sec.	Coraza	Capa Sec.	Núcleo
m	ton	Ton	m	m	ton
4,00	13,09	1,31	4,11	1,91	0,065

Como los elementos de la coraza son muy grandes y probablemente sea difícil obtenerlos de los bancos de materiales, se propone utilizar elementos prefabricados (tetrápodos), el peso y espesor calculado para estos elementos es:

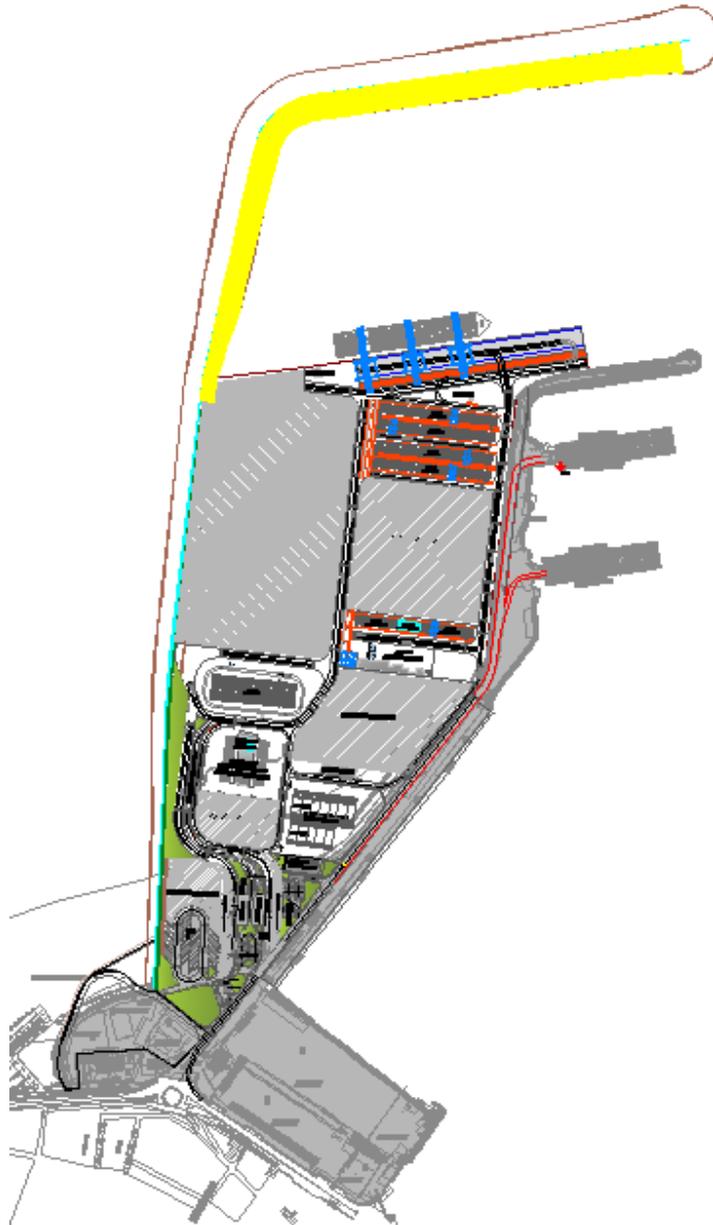
Tabla 17 Cálculo de elementos prefabricados para coraza para cuando la ola no rompe

Altura de ola	Peso Coraza
m	ton
4,00	8,01

Se recomienda tetrápodos de 8,79 toneladas con un espesor de 2,65 m.

b) Diseño para la parte protegida en zona de muelle

Figura 65 Parte del rompeolas protegida del oleaje
(Fuente: Propia)



La altura de la ola que se consideró para el diseño de la parte protegida del rompeolas fue de 2 m y un periodo de 15 segundos, pues las condiciones en esta zona no son tan desfavorables.

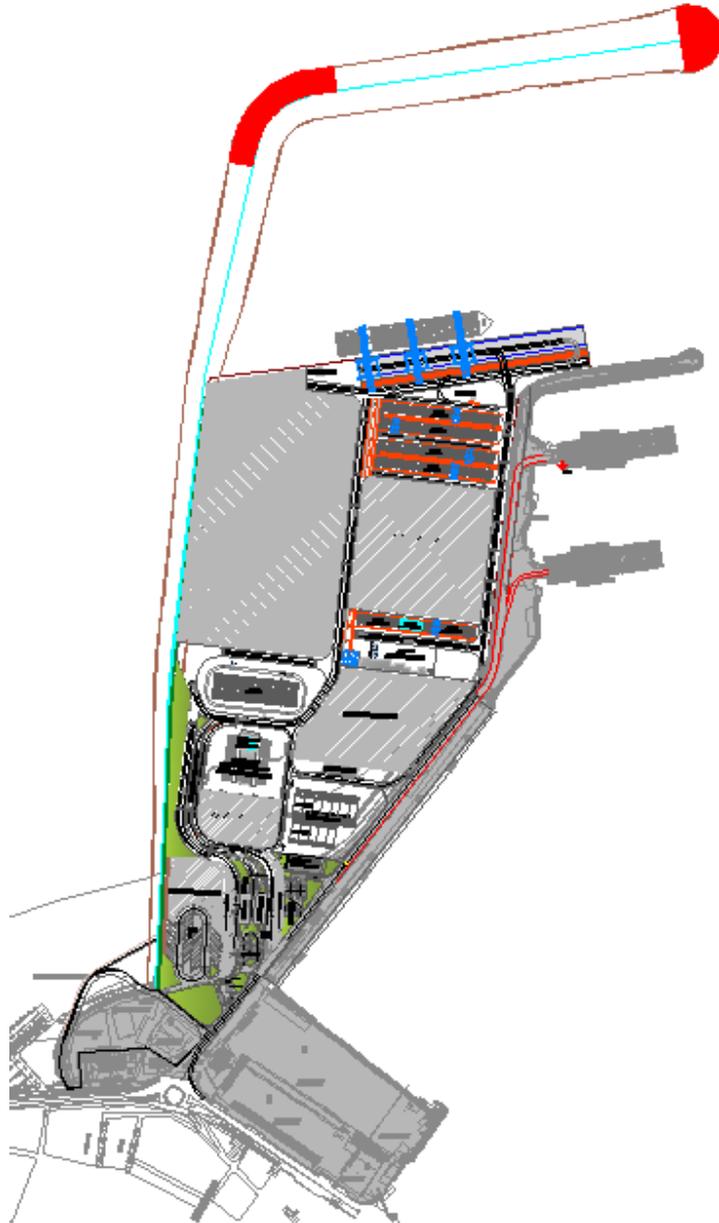
Los resultados de los cálculos de los pesos y espesores de la coraza y capa secundaria se muestran en la tabla:

Tabla 18 Pesos y espesores para coraza y capa secundaria

Altura de ola m	Peso		Espesor	
	Coraza ton	Capa Sec. Ton	Coraza m	Capa Sec. m
2,00	1,64	0,16	2,05	0,95

c) Diseño para punto de inflexión y morro

Figura 66 Punto de inflexión y Morro del rompeolas
(Fuente: Propia)



El análisis para el diseño del punto de inflexión y del morro se hizo con una altura de ola de 4 m y un periodo de 15 segundos.

Los resultados de pesos y espesores para el punto de inflexión y el morro son los siguientes:

Tabla 19 Pesos y espesores de las capas del Punto de inflexión y el morro

Altura de ola m	Peso	Peso	Espesor		Peso
	Coraza ton	Capa Sec. Ton	Coraza m	Capa Sec. m	Núcleo ton
4,00	16,36	1,64	4,42	2,05	0,0818

Dado que los elementos de la coraza son muy grandes y probablemente sea difícil obtenerlos de los bancos de materiales, se propone utilizar elementos prefabricados (tetrápodos), el peso y espesor calculado para estos elementos es:

Tabla 20 Pesos y espesores para coraza y capa secundaria del Punto de inflexión y morro

Altura de ola m	Peso Coraza ton
4,00	10,67

Se presupone que se acepta un determinado número de daños en la estructura, por lo tanto se recomienda tetrápodos de 10 toneladas con un espesor de 3,25 m.

Conclusiones para el prediseño del rompeolas:

Para que el diseño sea más eficiente se eligieron seis tramos:

Tabla 21 Resumen del prediseño del rompeolas para los diferentes tramos

	Cadenamiento	Profundidad Aproximada	Condiciones de Oleaje	Ola de Diseño	Zona	Elementos de Coraza
TRAMO 1	0+000 - 0+660	0 - 8	Rompiente	4	Expuesta	Tetrápodos
TRAMO 2	0+660 - 1+460	8 - 10	No rompiente	4	Expuesta	Tetrápodos
TRAMO 3	1+460 - 1+680	17 - 18	No rompiente	4	Punto de inflexión	Tetrápodos
TRAMO 4	1+680 - 2+280	18 - 25	No rompiente	4	Expuesta	Tetrápodos
TRAMO 5	2+300	25 - 26	No rompiente	4	Morro	Tetrápodos
TRAMO 6	1+040 - 2+280	10 - 25	No rompiente	2	Protegida	Roca

Figura 67 Tramo 1 (del cadenamiento 0+000 al 0+660)
(Fuente: Propia)

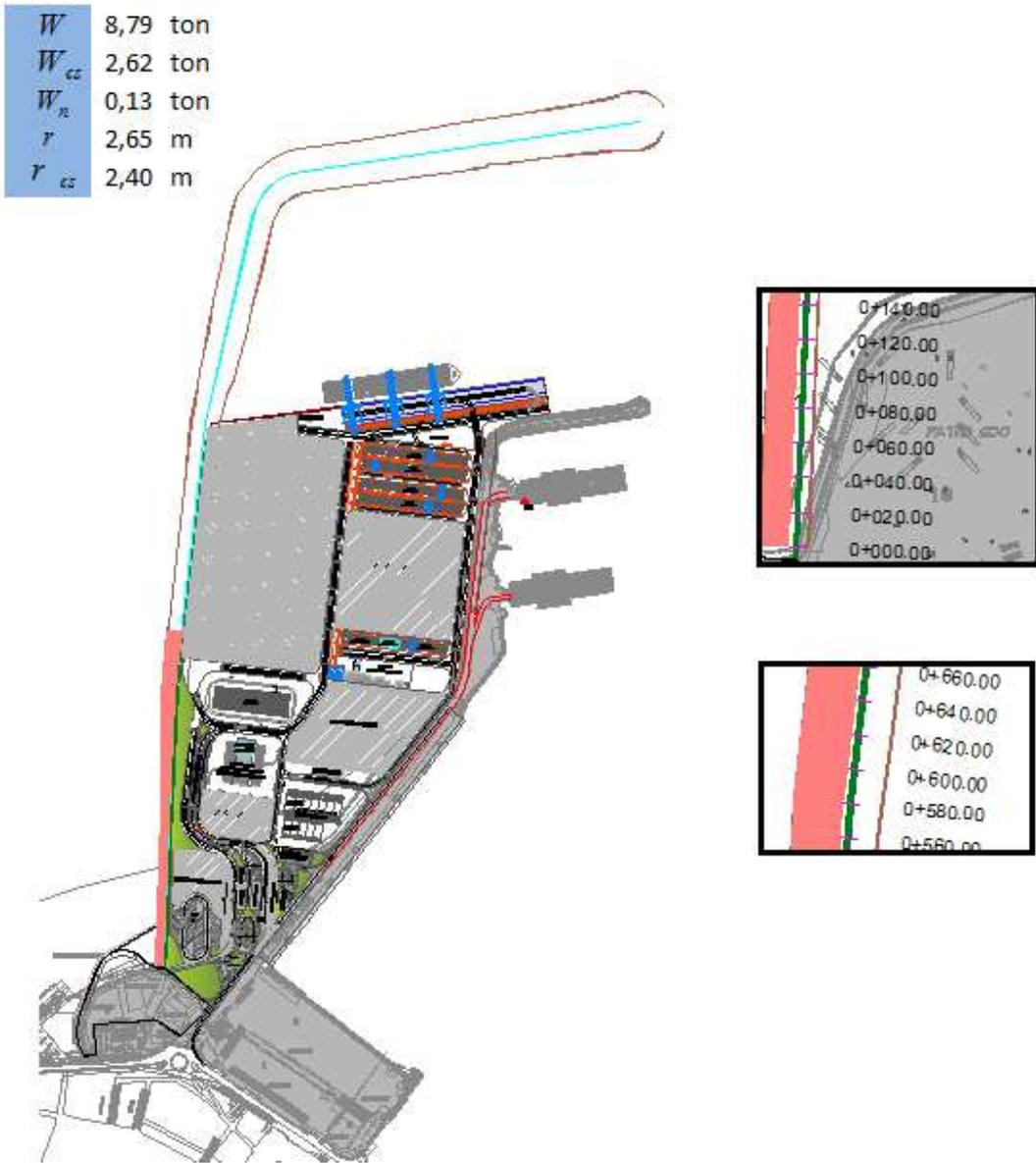


Figura 68 Tramo 2 (del cadenamiento 0+660 al 1+460)
 (Fuente: Propia)

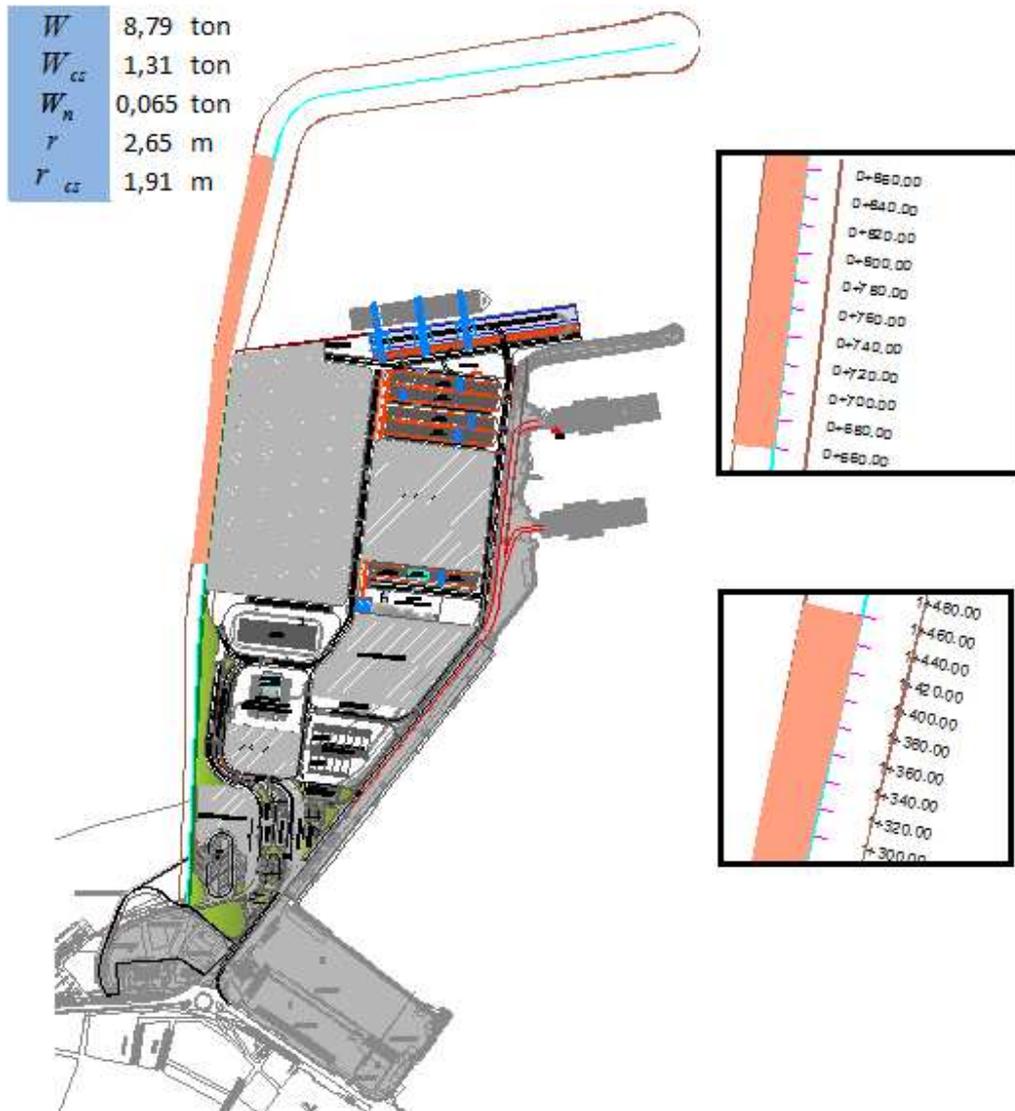


Figura 69 Tramo 3 (del cadenamiento 1+460 al 1+680)
(Fuente: Propia)

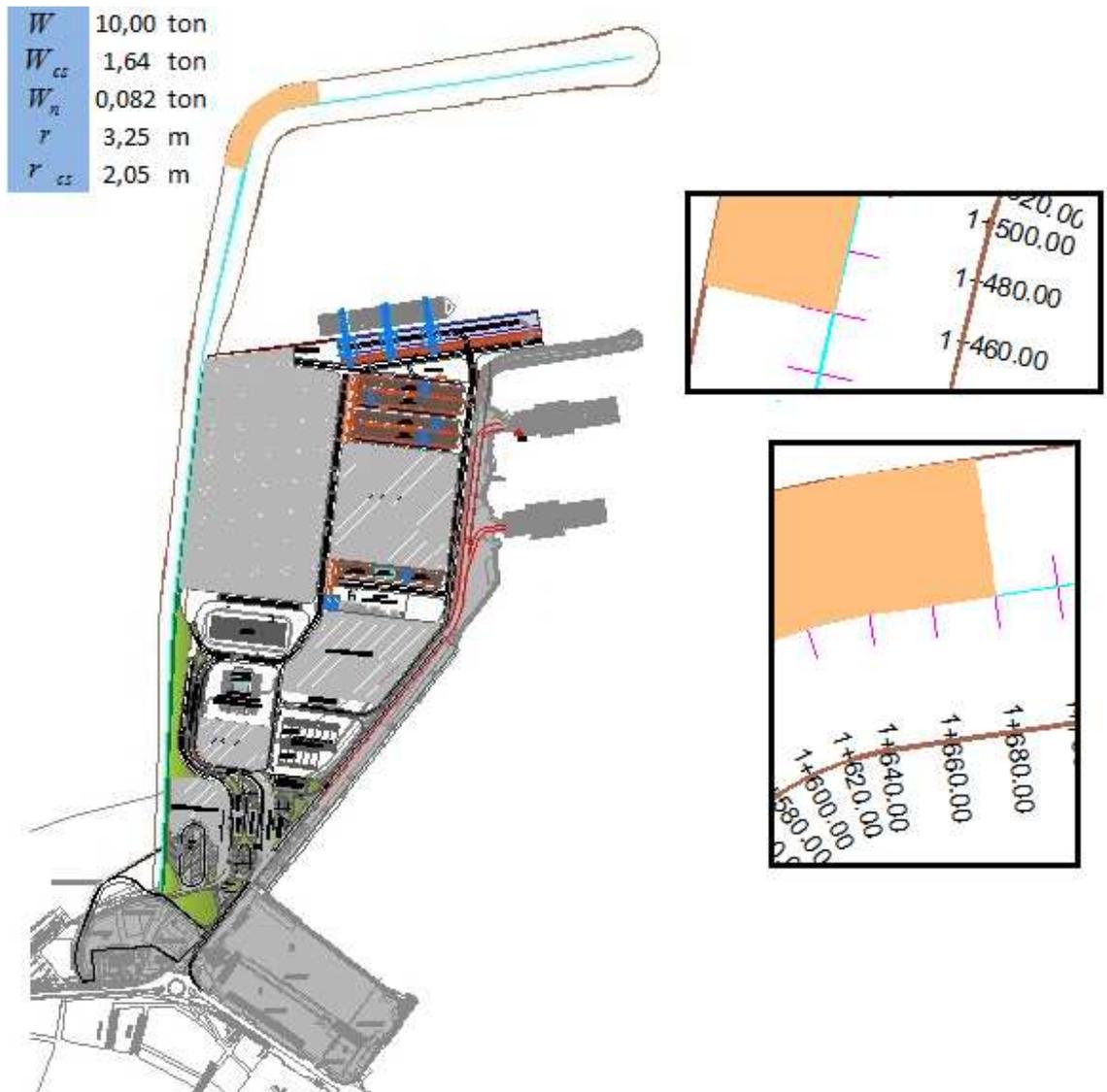


Figura 70 Tramo 4 (del cadenamiento 1+680 al 2+280)
 (Fuente: Propia)

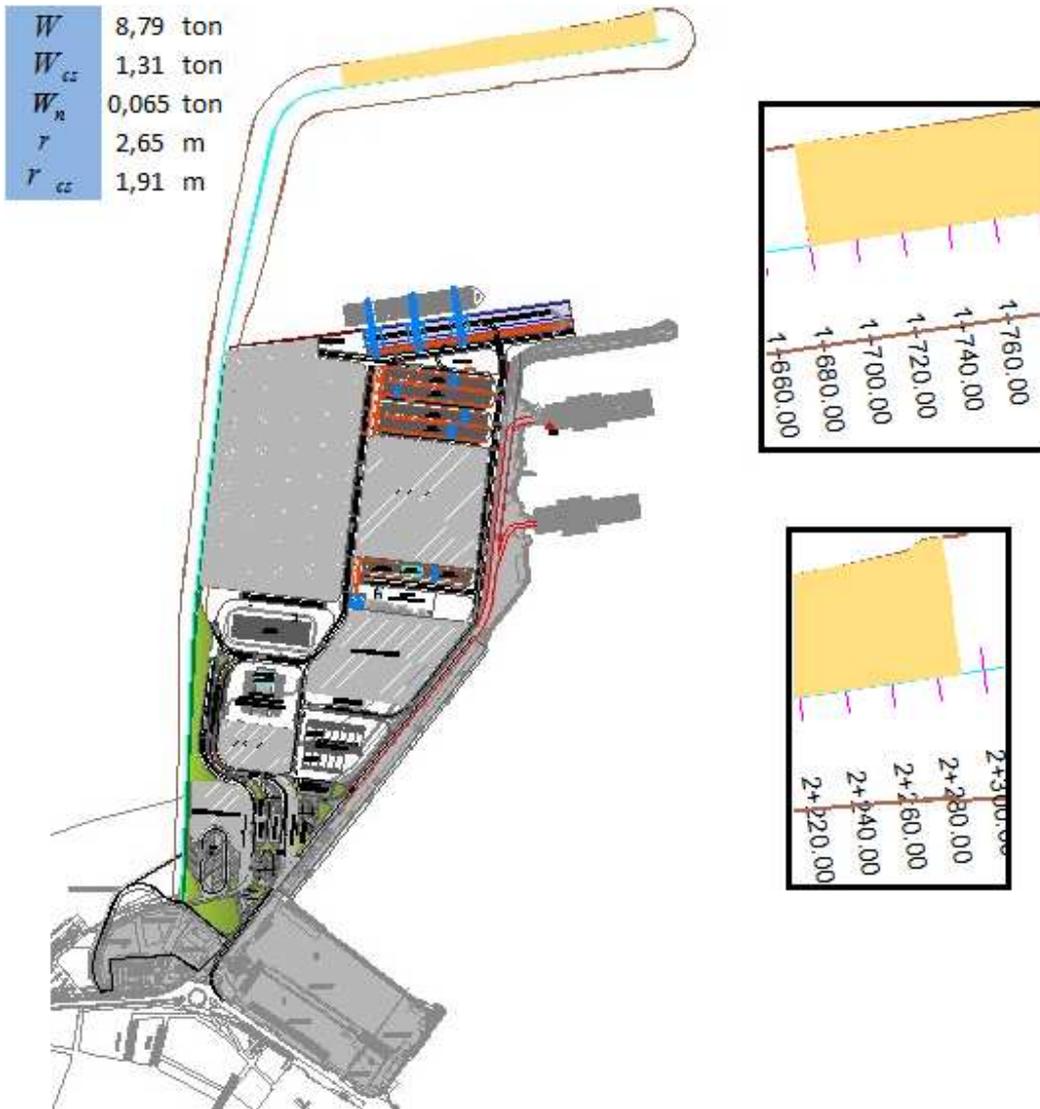


Figura 71 Tramo 5 (del cadenamiento 2+300)
(Fuente: Propia)

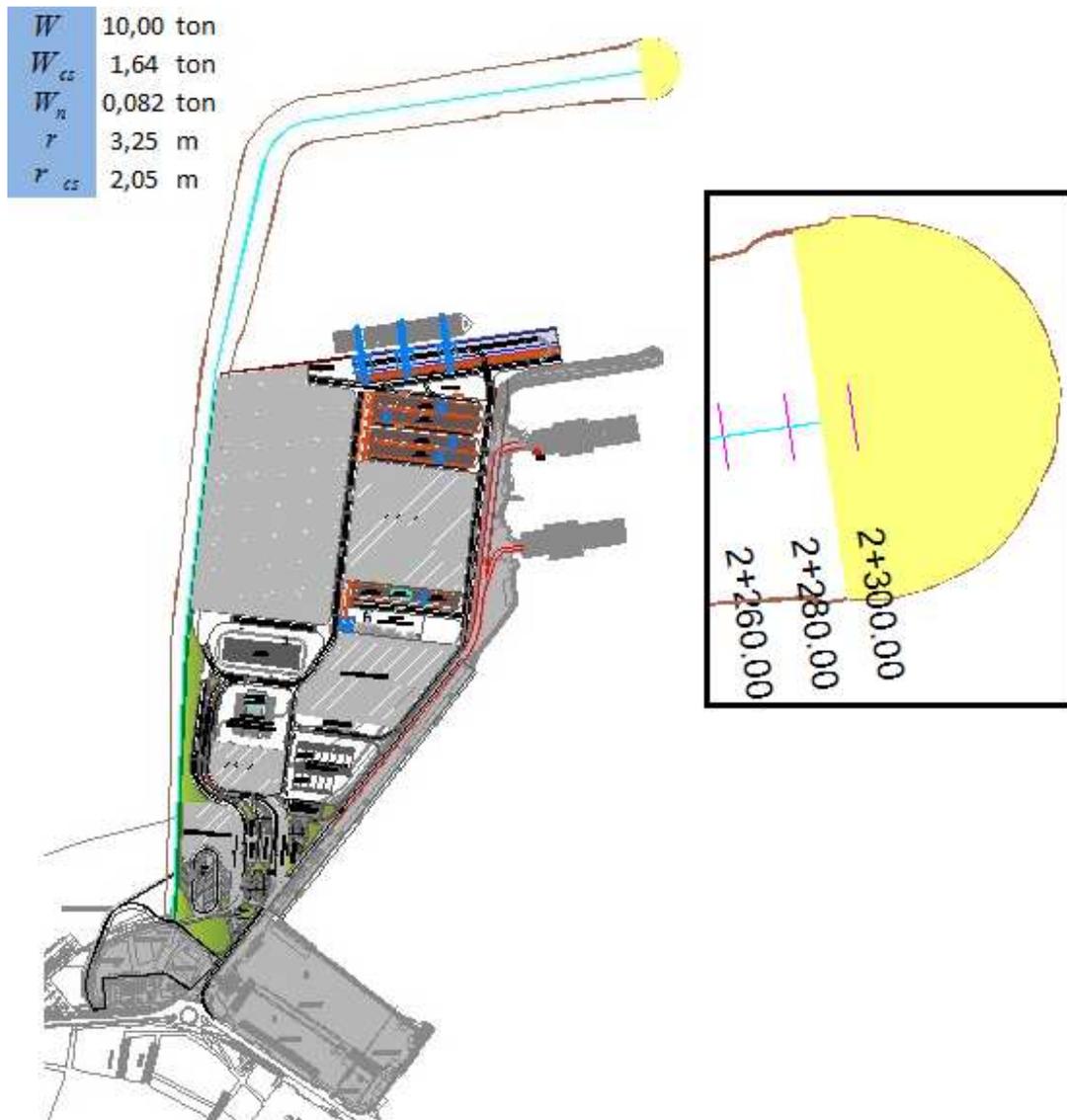
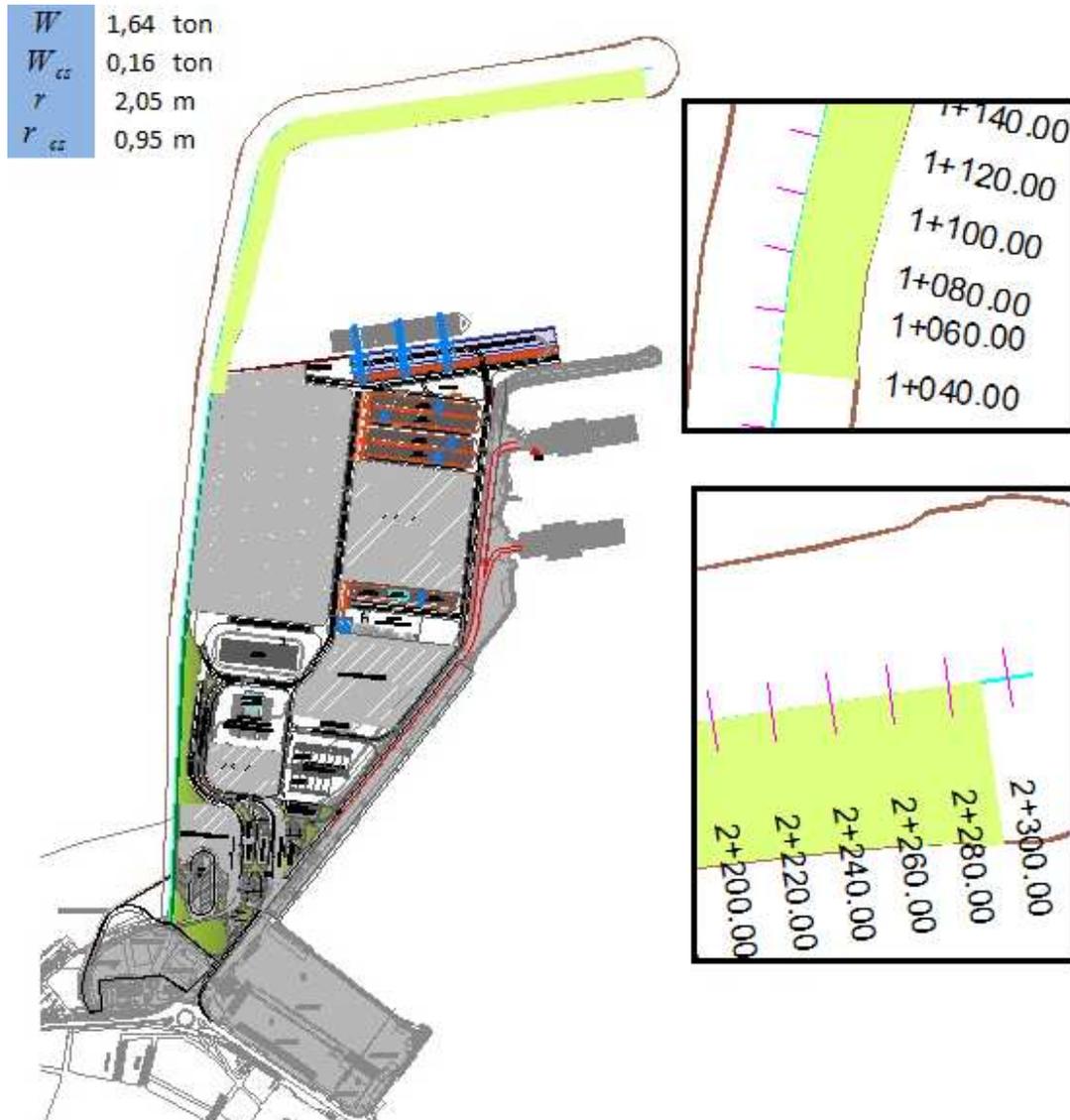


Figura 72 Tramo 6 (del cadenamiento 1+040 al 2+280)
(Fuente: Propia)



Elevación

La elevación es la altura a la cual debe de estar el rompeolas, para evitar que el agua rebese dicha estructura y que haya pérdidas (tanto humanas como materiales).

La elevación depende del fenómeno llamando Run-up, que éste a su vez es función de la pendiente, porosidad y rugosidad de la capa de coraza. El Run-up solamente se calcula para profundidades en las que la ola no rompe.

Del análisis que se hizo para cuando una ola rompe sobre la estructura de protección, tenemos que dicha ruptura se presenta a una profundidad máxima de 8 m, por lo tanto el cálculo para el fenómeno del Run-Up se hizo para profundidades mayores a esos 8 m y para una altura de ola de 4 m (sin considerar refracción). Para dichos cálculos se utilizó la tabla C-1 y las figuras 7-11 y 7-12 del "Shore Protection Manual", 1984.

Los cálculos del Run-up para las diferentes profundidades que alcanza el rompeolas se muestran a continuación.

Tabla 22 Cálculo del Run-up

d_s (m)	$\frac{d}{L_0}$ (m)	$\frac{H}{H'_0}$ (adimensional)	H'_0 (m)	$\frac{H'_0}{gT^2}$ (adimensional)	$\frac{d_s}{H'_0}$ (adimensional)	$\frac{R}{H'_0}$ (adimensional)	R (m)	R (m)	$\frac{R}{H'_0}$ (lisa) (adimensional)	$\frac{R}{H'_0}$ (rugosa) (adimensional)	R (m)
8,0	0,0228	1,1917	3,36	0,0015	2,38	3,30	11,08	13,18	3,93	1,77	5,93
9,0	0,0256	1,1624	3,44	0,0016	2,62	3,30	11,36	13,51	3,93	1,77	6,08
10,0	0,0285	1,1373	3,52	0,0016	2,84	3,30	11,61	13,81	3,93	1,77	6,22
11,0	0,0313	1,1158	3,58	0,0016	3,07	2,00	7,17	8,53	2,38	1,07	3,84
12,0	0,0342	1,0970	3,65	0,0017	3,29	2,00	7,29	8,68	2,38	1,07	3,91
13,0	0,0370	1,0800	3,70	0,0017	3,51	2,00	7,41	8,82	2,38	1,07	3,97
14,0	0,0399	1,0647	3,76	0,0017	3,73	2,00	7,51	8,94	2,38	1,07	4,02
15,0	0,0427	0,7530	5,31	0,0024	2,82	2,00	10,62	12,64	2,38	1,07	5,69
16,0	0,0455	1,0420	3,84	0,0017	4,17	2,00	7,68	9,14	2,38	1,07	4,11
17,0	0,0484	1,0284	3,89	0,0018	4,37	2,00	7,78	9,26	2,38	1,07	4,17
18,0	0,0512	1,0183	3,93	0,0018	4,58	2,00	7,86	9,35	2,38	1,07	4,21
19,0	0,0541	1,0097	3,96	0,0018	4,80	2,00	7,92	9,43	2,38	1,07	4,24
20,0	0,0569	1,0012	4,00	0,0018	5,01	2,00	7,99	9,51	2,38	1,07	4,28
21,0	0,0598	0,9938	4,03	0,0018	5,22	2,00	8,05	9,58	2,38	1,07	4,31
22,0	0,0626	0,9869	4,05	0,0018	5,43	2,00	8,11	9,65	2,38	1,07	4,34
23,0	0,0655	0,9805	4,08	0,0018	5,64	2,00	8,16	9,71	2,38	1,07	4,37
24,0	0,0683	0,9746	4,10	0,0019	5,85	2,00	8,21	9,77	2,38	1,07	4,40
25,0	0,0712	0,9691	4,13	0,0019	6,06	2,00	8,26	9,82	2,38	1,07	4,42
26,0	0,0740	0,9641	4,15	0,0019	6,27	2,00	8,30	9,87	2,38	1,07	4,44

De acuerdo a los cálculos anteriores el punto máximo que alcanza el Run-Up es 6,08 m (referida al MLWS); sin embargo la elevación del rompeolas depende del ancho de la capa secundaria y de la coraza; llegando a una elevación de 7,03 m, 7,74 m y 8,18 m (referidas al MLWS) en el empotramiento y cuerpo del rompeolas y el morro, respectivamente. De lo anterior se concluye que la ola no va a rebasar la estructura de protección.

Las siguientes figuras muestra un corte transversal del rompeolas en el cual se puede observar las tres capas que lo forman (núcleo, capa secundaria y coraza). La elevación del rompeolas varía de acuerdo al espesor de las capas y la elevación que tiene el núcleo; pues desde el cadenamiento 0+000 al 0+120 (empotramiento del rompeolas) el núcleo tiene elevación de 4,00 m, del cadenamiento 0+120 al 0+320 (cambio de elevación) se tiene un pendiente del 0,005% y del cadenamiento 0+320 (cuerpo del rompeolas y el morro) en adelante la elevación es de 5,00 m en el núcleo.

Figura 73 Empotramiento del rompeolas
(Fuente: Propia)

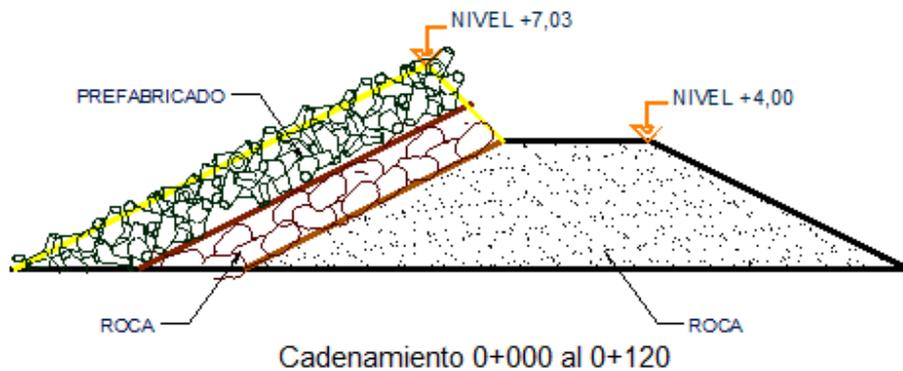


Figura 74 Cambio en la elevación del núcleo
(Fuente: Propia)

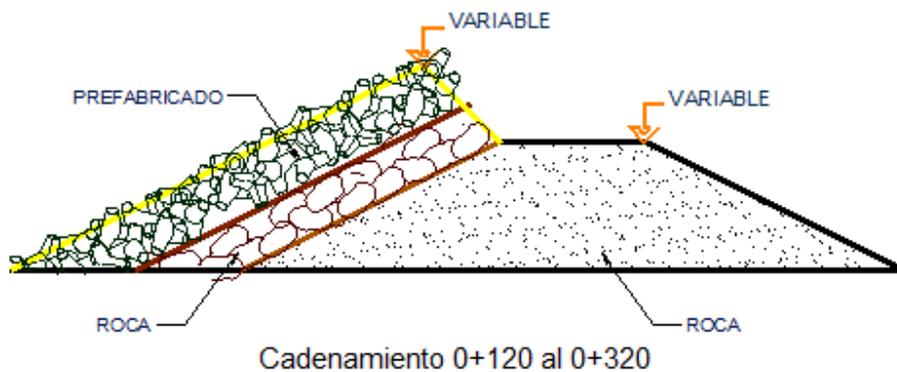


Figura 75 Cuerpo del rompeolas
(Fuente: Propia)

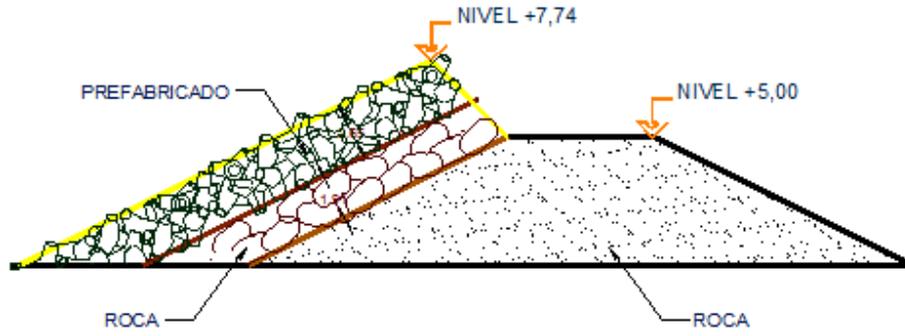
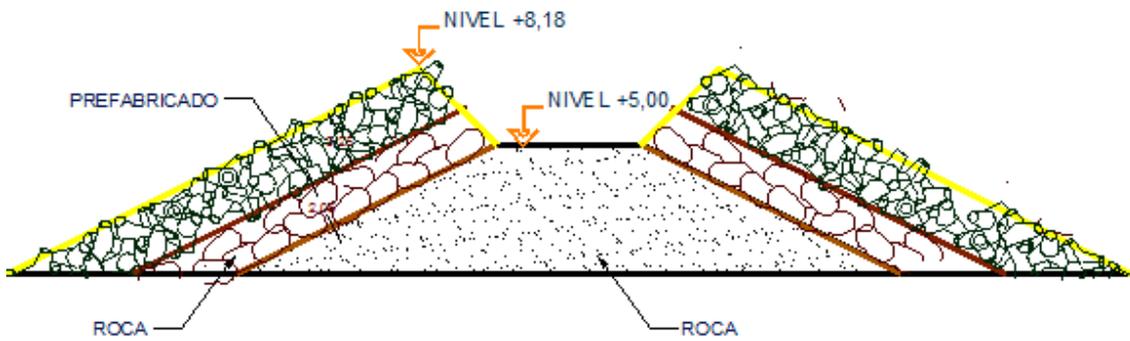


Figura 76 Punto de inflexión y Morro
(Fuente: Propia)



A manera de resumen, a continuación se presentan las secciones tipo del rompeolas y se indica que cadenamiento es aplicable a cada sección; así como los espesores y pesos de cada capa.

Figura 77 Sección tipo del cadenamiento 0+000 al 0+120
(Fuente: Propia)

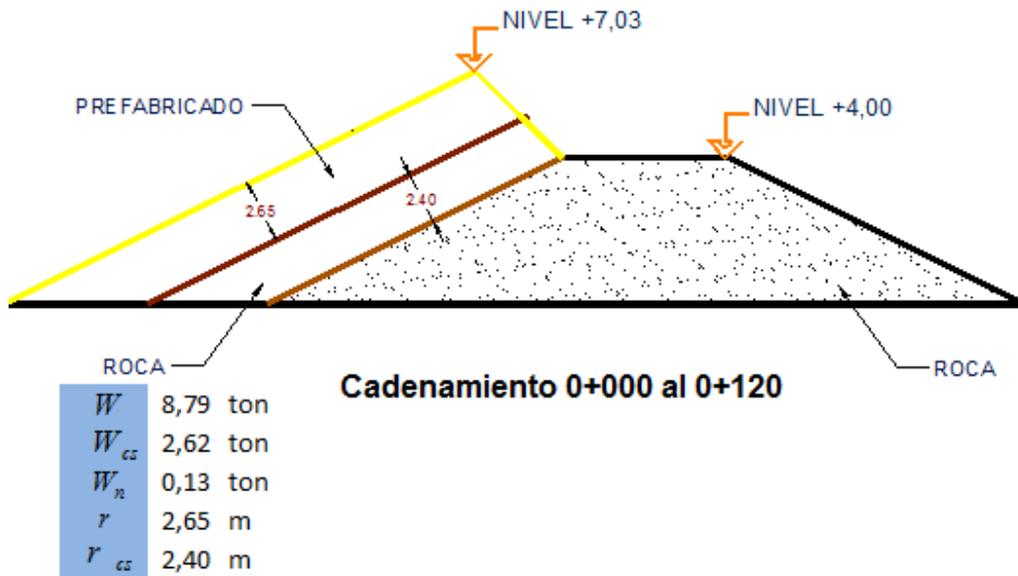


Figura 78 Sección tipo del cadenamiento 0+120 al 0+320
(Fuente: Propia)

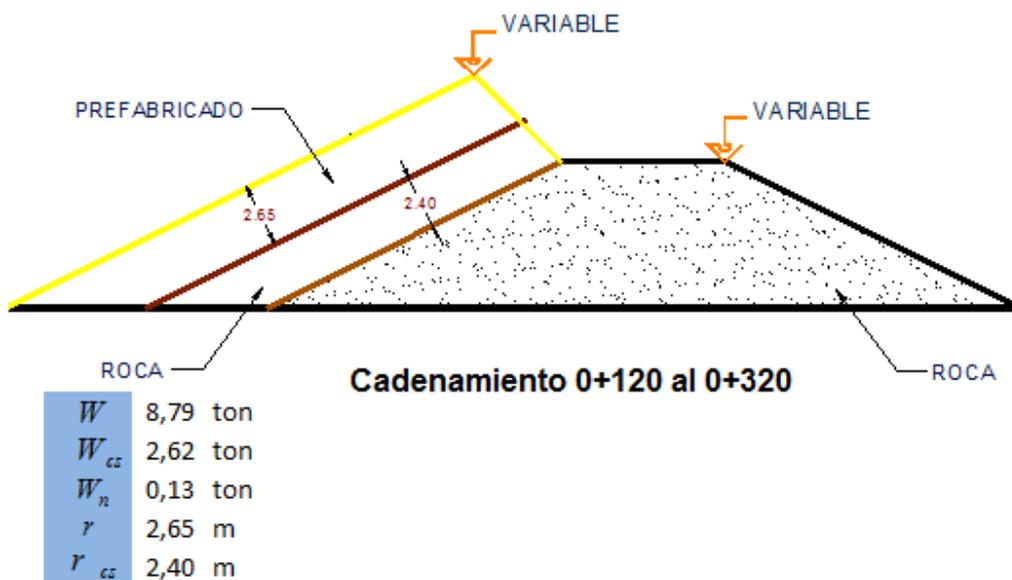


Figura 79 Sección tipo del cadenamiento 0+320 al 0+660
(Fuente: Propia)

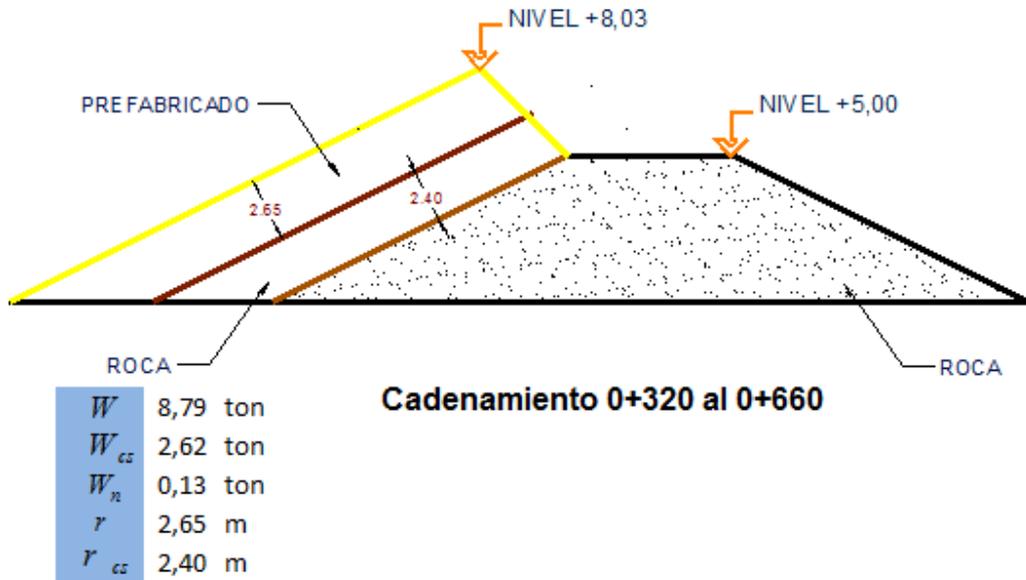


Figura 80 Sección tipo del cadenamiento 0+660 al 1+040
(Fuente: Propia)

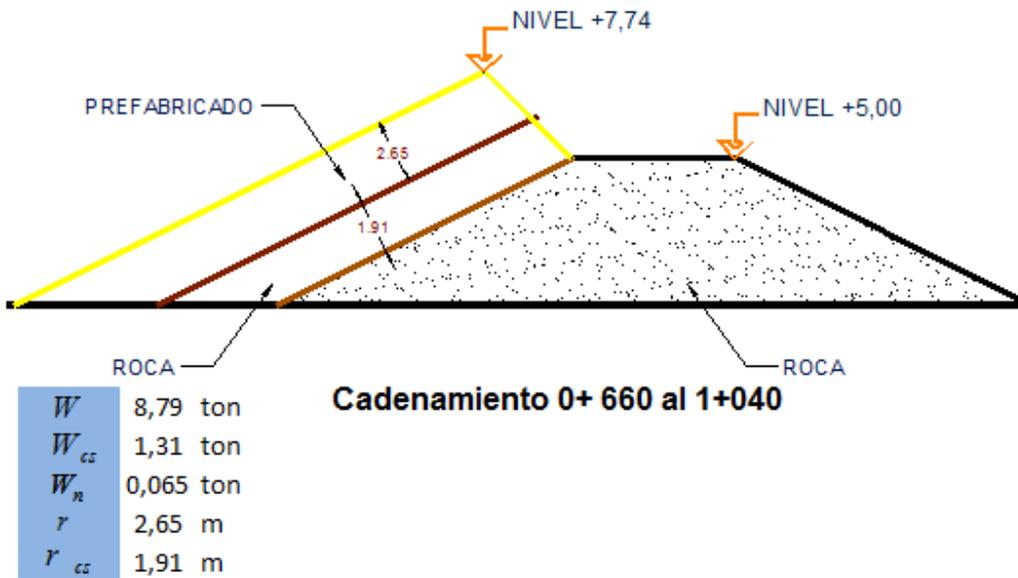


Figura 81 Sección tipo del cadenamiento 1+040 al 1+460
(Fuente: Propia)

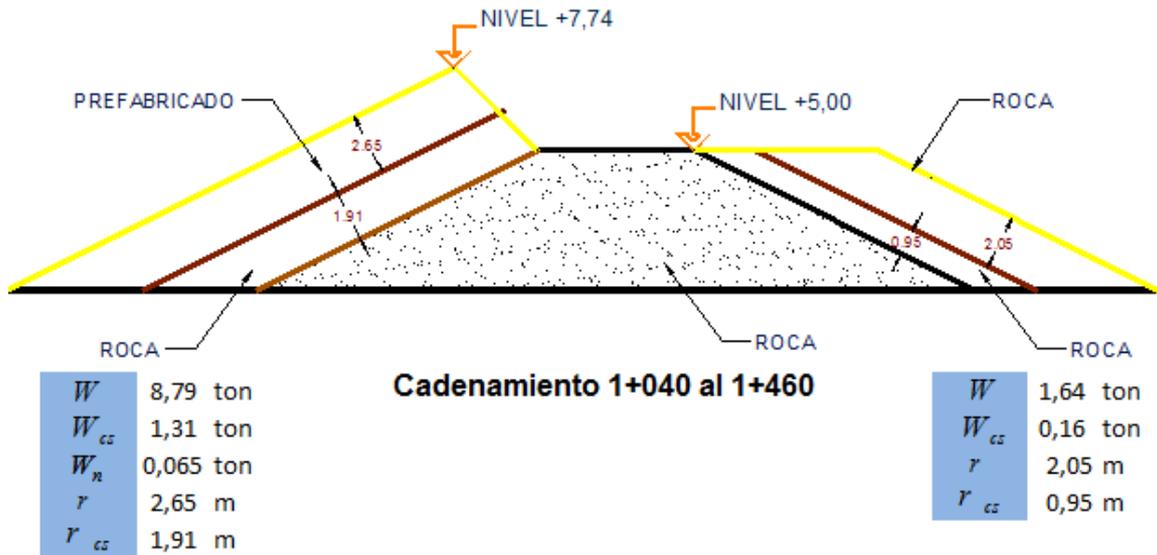


Figura 82 Sección tipo del cadenamiento 1+460 al 1+680
(Fuente: Propia)

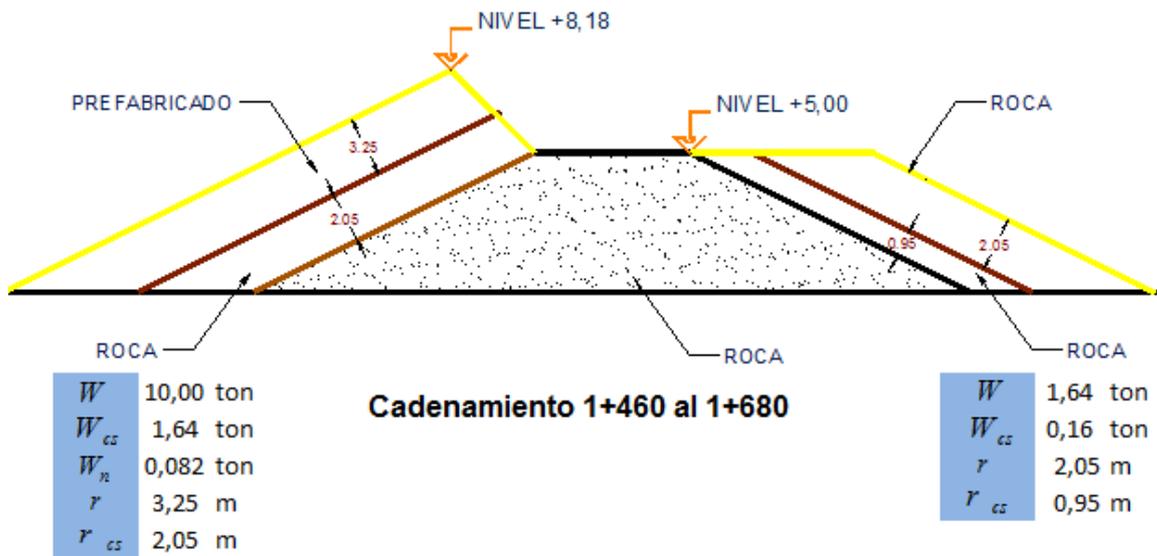


Figura 83 Sección tipo del cadenamiento 1+680 al 2+280
(Fuente: Propia)

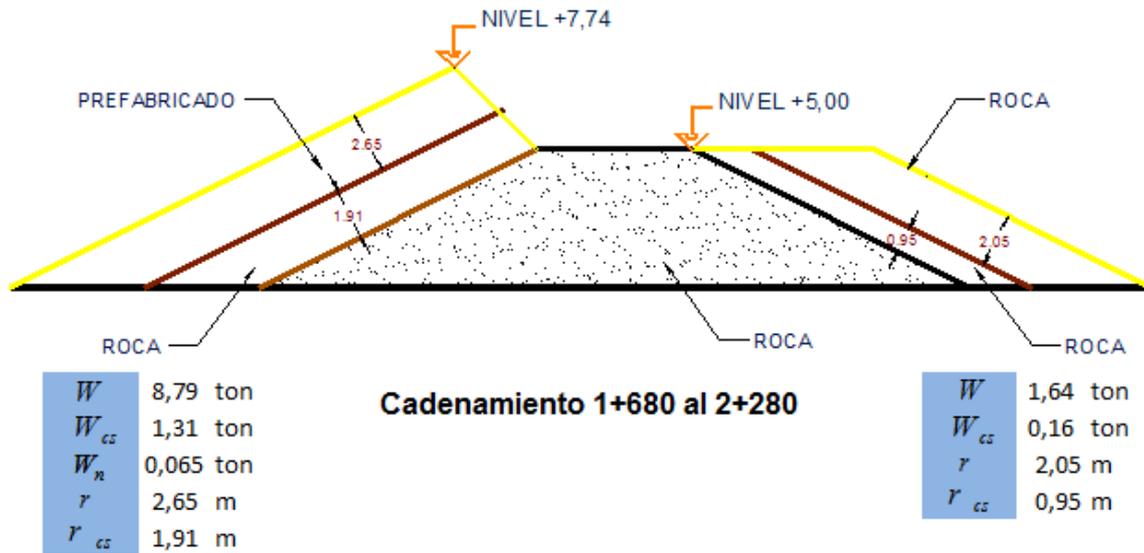
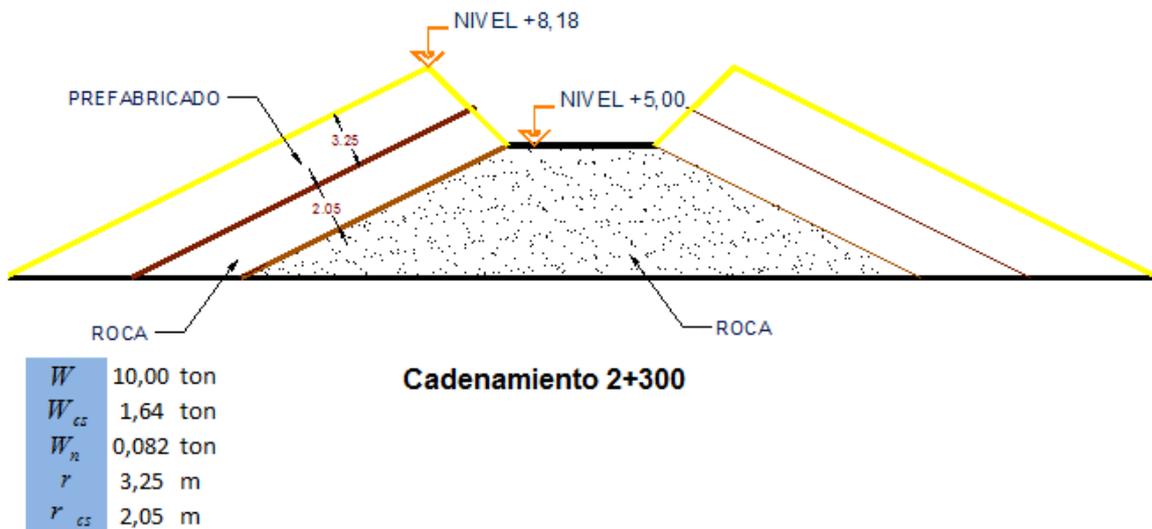


Figura 84 Sección tipo del cadenamiento 2+300
(Fuente: Propia)



6.3 Áreas de navegación

Las áreas de navegación tienen la función de cubrir las necesidades de acceso al puerto en forma segura y eficiente, en las maniobras que realiza el barco, desde la entrada hasta que fondea o atraca y viceversa.

Los factores que se deben de tomar en cuenta para su diseño son el barco de diseño, los taludes necesarios (que depende del material que forme el fondo marino), transporte litoral y la dirección de la ola máxima.

La profundidad de las áreas de agua depende de las embarcaciones, su velocidad y la magnitud de olas que se presenten en el canal.

Especificaciones de la embarcación de diseño

La embarcación de diseño no es necesariamente la que llegará al puerto sino que sirve como referencia principal con datos de tamaño, tipo de barco y atraque.

Las especificaciones para dicha embarcación son:

Nueva Clase-A de Maersk

- Tonelaje peso muerto: 109.000 toneladas
- Tonelaje bruto: 93.496 toneladas
- Longitud total: 352 m
- Manga: 42,8 m
- Calado con carga: 15,0 m

Para el diseño de las áreas de navegación se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El canal de acceso va ser de un solo sentido y no va a tener tramos curvos, es decir, es recto.
- Cuando el barco entre al puerto será ayudado por remolcadores.
- Por la configuración que tienen los muelles de proyecto la dársena de servicio tendrá atraque en línea en ambos lados.

Criterios de diseño

1. Canal de acceso

Los aspectos fundamentales a considerar en el dimensionamiento del canal de acceso son:

- a) Alineamiento en planta
- b) Longitud del Canal de Acceso
- c) Ancho del Canal de Acceso:
- d) Profundidad

a) Alineamiento en planta

Para el diseño óptimo de los canales, se dan las siguientes recomendaciones:

- Deberán ser rectos de preferencia, y en el acceso tenderán a ser normales a la costa o paralelos a la dirección predominante de los temporales.
- Por ningún motivo se aceptan curvas en "S".
- El tramo de transición entre mar abierto y zona protegida, debe ser razonablemente recto.
- En el interior del puerto los cambios de dirección deben ser con los mayores radios de giro posibles.

b) Longitud del Canal de Acceso

La longitud del canal de acceso está compuesta por una longitud exterior (l_e), que depende de la pendiente natural del fondo marino; y por una distancia de parada (D_p), necesaria para la maniobra de frenado del barco.

c) Ancho del Canal de Acceso

El ancho del canal depende de los siguientes factores:

- El barco de diseño (nivel de maniobrabilidad, dimensiones, tipo de carga, visibilidad global y velocidad)
- Físicos, como vientos, corrientes y oleajes de través al canal
- Distancia libre de cruce entre 2 barcos
- Distancia existente a las márgenes del canal

- Profundidad y trazo en planta del canal
- Tipo de carga (común y peligrosa)
- Ayudas a la navegación (balizamiento, radar, etc.)

El ancho del canal recomendado por PIANC para una sola vía de navegación es:

$$B = Tr + N + \sum_{i=1}^n ni + Tr$$

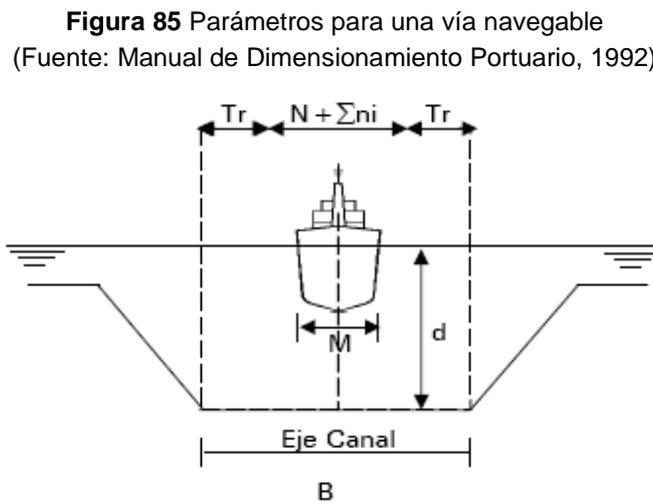
Donde:

B =Ancho de canal (m)

Tr =Franja de resguardo de talud

N =Vía de maniobrabilidad

ni =Sobreeanchos de maniobra



A continuación se presentan los valores mínimos recomendados por "PIANC", 1997.

Sobreanchos de maniobra:

Tabla 23 Sobreanchos de maniobra en canales de acceso
(Fuente: PIANC, 1997)

Ancho ni		Canal exterior Expuesto (Mangas)		Canal interior Abrigado (Mangas)
a)	Velocidad del barco "Vb" (nudos) >12; 8-12; 5-8	0,1; 0, 0		0,1; 0; 0
b)	Viento dominante de través (nudos)	Vb:		
	≤15 nudos	Todas	0	0
	15-33	A, M, L	0,3; 0,4; 0,5	-; 0,4; 0,5
	33-48	A, M, L	0,6; 0,8; 1,0	-; 0,8; 1,0
c)	Corriente transversal dominante (nudos)	Vb:		
	Despreciable < 0,2	Todas	0	0
	Débil 0,2 - 0,5	A, M, L	0,1; 0,2; 0,3	-; 0,1; 0,2
	Media > 0,5 - 1,5	A, M, L	0,5; 0,7; 1,0	-; 0,5; 0,8
	Fuerte > 1,5 - 2	A, M, L	0,7; 1,0; 1,3	-; -; -
d)	Corriente longitudinal dominante (nudos)	Vb:		
	Débil ≤ 1,5	Todas	0	0
	Media > 1,5 - 3	A, M, L	0; 0,1; 0,2	0; 0,1; 0,2
	Fuerte > 3	A, M, L	0,1; 0,2; 0,4	-; 0,2; 0,4
e)	Altura de cresta del oleaje significante Hs y su longitud λ (m)	Vb:		
	Hs < 1; λ ≤ L	Todas	0	0
	1 < Hs < 3; λ ≈ L	A, M, L	2; 1; 0,5	-
	Hs > 3; λ > L	A, M, L	3; 2,2; 1,5	-
f)	Ayudas a la navegación			
	Excelentes, con control de tráfico		0	0
	Buenas		0.1	0.1
	Media (Mala visibilidad ocasional)		0.2	0.2
	Madia (Mala visibilidad frecuente)		≥ 5	≥ 5
g)	Superficie de fondo			
	≥ 1,5d		0	0
	< 1,5d Refular: movable o con pendiente firme		0.1	0.1
	< 1,5d Rugosa y dura		0.2	0.2
h)	Profundidad del canal			
	≥ 1,5d; 1,25 - 1,5d; < 1,25d		0; 0,1; 0,2	-
	≥ 1,5d; 1,15 - 1,5d; < 1,15d		-	0; 0,2; 0,4
i)*	Nivel de riesgo de la carga (tóxica, explosiva, combustible, corrosiva o contaminante)			
	Bajo, Medio, Alto		0; ≥ 0,5; ≥ 1,0	0; ≥ 0,4; ≥ 0,8

A= Alta; M=Media; L=Lenta

(*) Para establecer el riesgo de la carga, se entiende Bajo en el caso de gráneles, contenedores, pasajeros, mercancía en general y carga sobre remolque; Medio en el caso de hidrocarburos; y Alto, cuando se transportan combustibles, derivados de petróleos, gas licuado y productos químicos de todo tipo

Ancho de la franja de resguardo del talud:

Tabla 24 Franja de resguardo del talud, mangas
(Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, 1992)

Ancho respecto a las orillas del talud "Tr"	Velocidad del barco	Canal exterior expuesto	Canal interior abrigado
Orillas del canal con pendiente y profundas	A, M, L	0,7; 0,5; 0,3	-; 0,5; 0,3
Orillas abruptas y duras	A, M, L	1,3; 1,0; 0,5	-; 1,0; 0,5

Controlabilidad del barco:

Para la vía de maniobra base N, que depende del control del barco se recomienda

Tabla 25 Contrabilidad del Barco
(Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, 1992)

Controlabilidad del barco	Buena	Regular	Mala
N	1,3 M	1,5 M	1,8 M

d) Profundidad

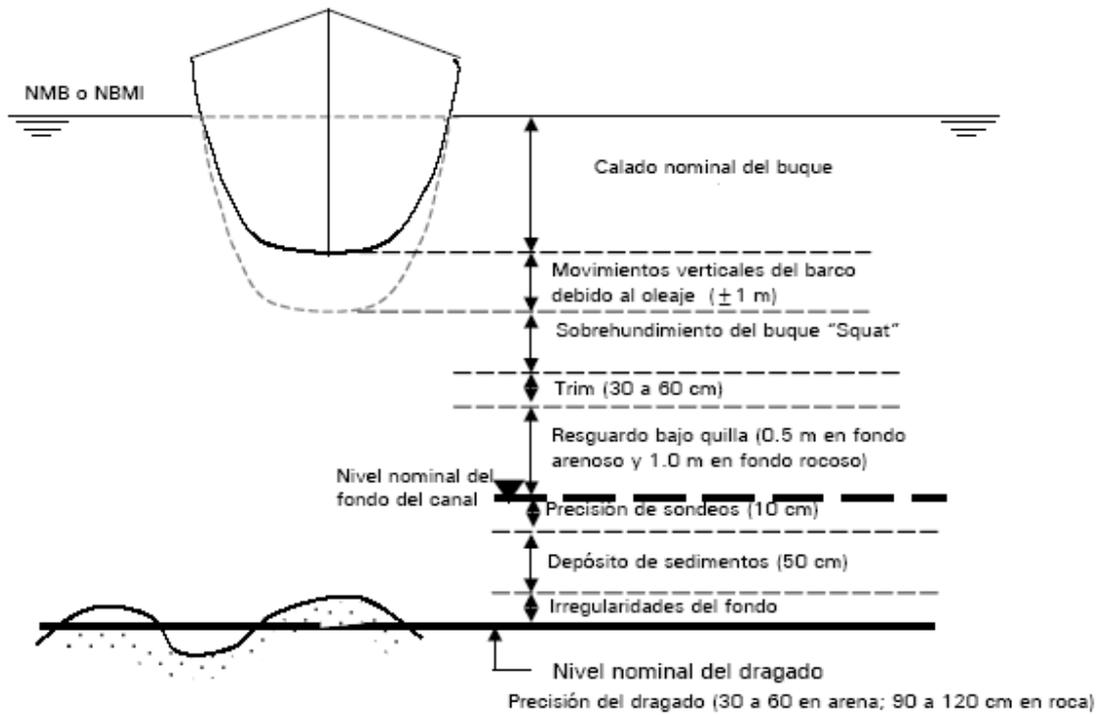
El requisito básico para garantizar la seguridad de navegación en una vía marítima es la profundidad mínima.

Su obtención depende de varios factores:

- El calado del buque a plena carga.
- El oleaje de operación considerando la marea a lo largo del canal.
- La relación tirante de agua / calado del buque (d/D).
- El Trim o diferencia de calados entre pro y la popa del barco, por efecto de la carga.
- El resguardo bajo la quilla del barco para permitir su gobernabilidad.
- Los depósitos de sedimentos y la precisión tanto de las mediciones realizadas en los sondeos como de la ejecución de los dragados.

En la siguiente figura se presentan los factores a considerar en el cálculo de la profundidad; tanto en el canal de acceso como para cualquier área de agua del puerto, donde las diferencias en dimensión dependerán de la magnitud de ellos en cada caso.

Figura 86 Factores para determinar la profundidad del canal
(Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, 1992)



2. Áreas de Maniobra

a) Dársena de Ciaboga

Se le domina dársena de Ciaboga al círculo de evolución de maniobras que sigue el barco en su entrada al puerto, aún cuando se utiliza también para la salida.

Las dársenas para maniobras se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 26 Tipos de dársenas de maniobras
(Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, 1992)

CLASIFICACIÓN DE LA DÁRSENA	TAMAÑO	OBSERVACIONES RESPECTO AL BARCO
Óptima	4E	Maniobra fácil
Intermedia	2E	Cierta dificultad y toma más tiempo
Pequeña	<2E	Maniobra difícil y requiere ayuda de remolcadores
Mínima	1,2E	Necesita pivotar en el centro sobre un duque o ancla

Otras recomendaciones generales para el dimensionamiento de esta área, se basan en la forma de realizar la operación de ciaboga, como se muestra a continuación:

Tabla 27 Dimensiones de la dársena de ciaboga
(Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, 1992)

CONDICIÓN	MODO DE REALIZAR LAS MANIOBRAS POR EL BARCO	DIÁMETRO O DIMENSIONES DE LA CIABOGA
Dársena sin restricción de espacio	Por sus propios medios (máquinas y anclas)	3E
	Con ayuda de remolcadores y las máquinas del barco	2E
Dársena con restricción de espacio	Por sus propios medios (máquinas)	2E
	Con ancla y remolcador por presencia de viento y corriente	1,5E

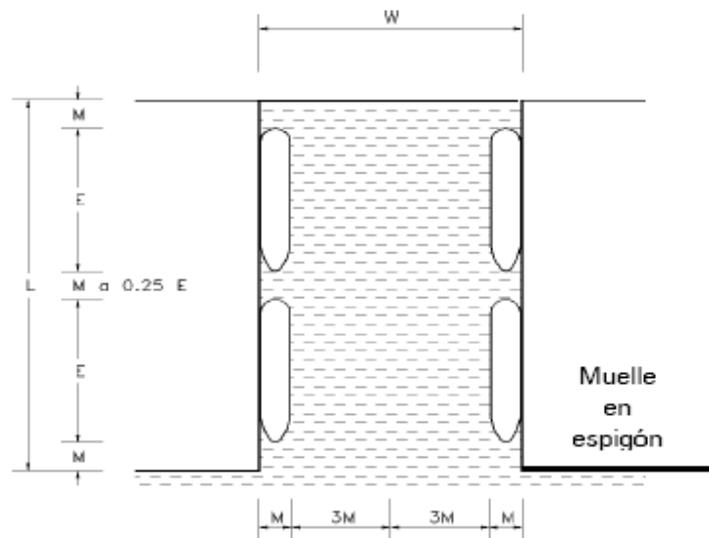
b) Dársena de Servicios

Llamadas también dársenas de atraque, comprenden las áreas de agua contigua a los muelles y normalmente dependen de la longitud del frente de atraque.

Como se mencionó anteriormente, por la configuración de los muelles de proyecto (muelles en espigón) se tendrá atraque en línea de ambos lados para la última etapa proyectada (etapa 3).

En la siguiente figura se muestra el atraque en línea de ambos lados:

Figura 87 Dársena de servicio con atraque en línea en ambos lados
(Fuente: Manual de Dimensionamiento Portuario, 1992)



Las dimensiones de la dársena de servicio se calculan con:

$$W = 8M$$

Donde:

W = Ancho de la dársena de atraque

M = Manga del barco

$$L = 2E + 3M$$

o

$$L = 2,25E + 2M$$

Donde:

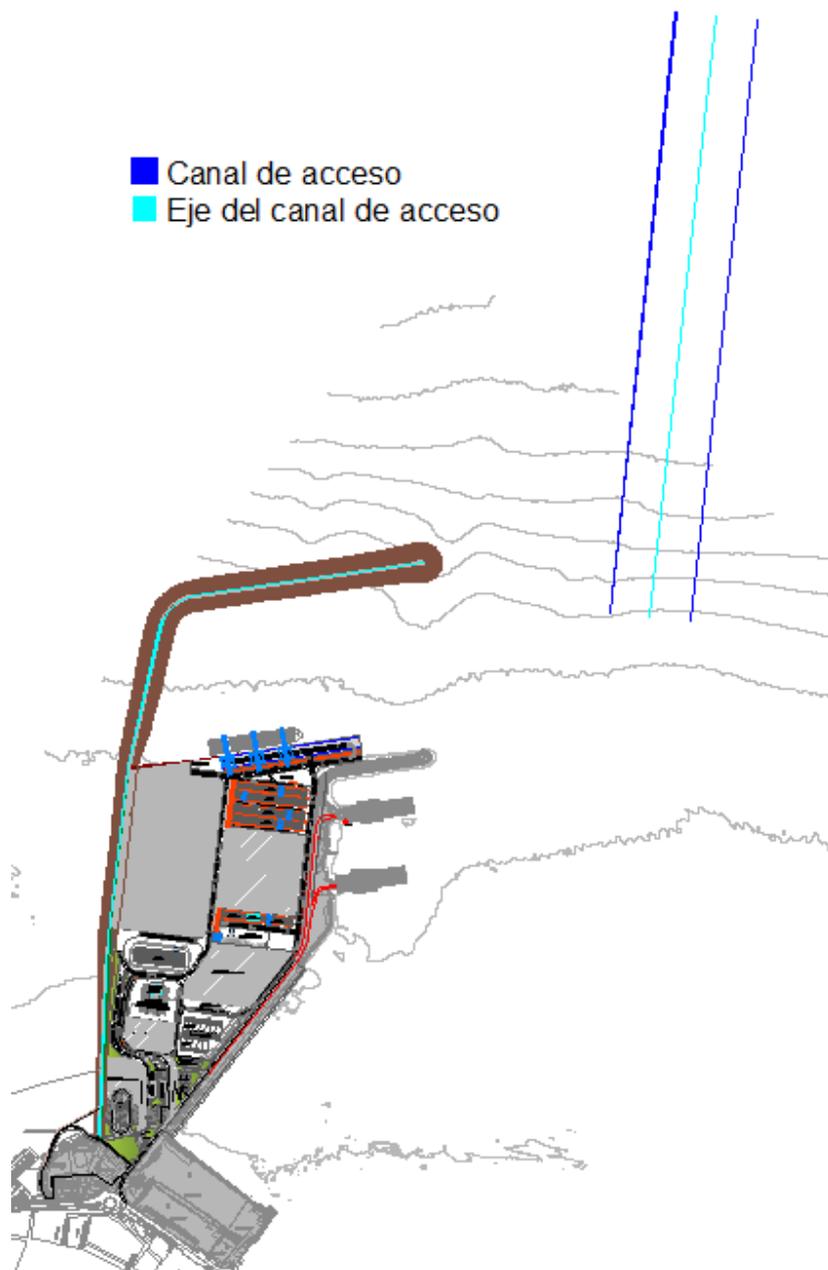
L = Longitud de la dársena de atraque

E = Eslora del barco

Cálculos

1. Canal de acceso
 - a) Alineamiento en planta

Figura 88 Alineamiento en planta del canal de acceso
(Fuente: Propia)



b) Longitud del Canal de Acceso

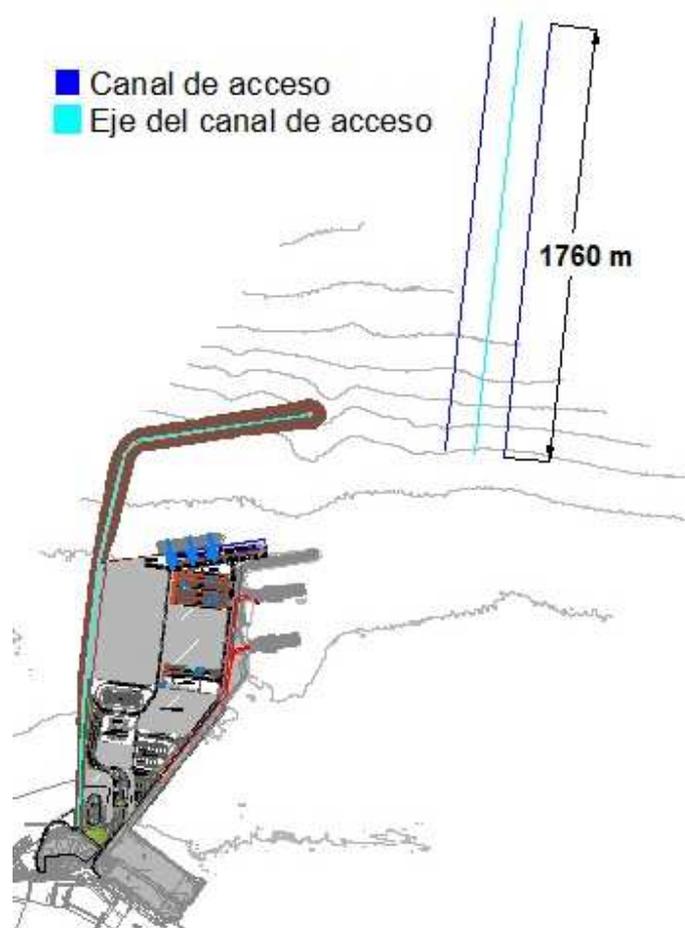
Como norma general la distancia de parada debe ser del orden de 5E (E: eslora del barco), a partir de que la popa del barco alcanza la zona protegida por el rompeolas; para velocidades de barco menores o iguales a 5 nudos.

Tabla 28 Cálculo de la longitud del canal de acceso

Concepto	Requisito	Cálculo
Distancia de parada (D_p), $vel < 5$ nudos	5 E	1760

La siguiente figura el canal de acceso visto en planta con una longitud de 1760 m.

Figura 89 Longitud del canal de acceso
(Fuente: Propia)



c) Ancho del Canal de Acceso

Para determinar el ancho del canal de acceso se deben de calcular los valores de los siguientes elementos:

Franja de resguardo del talud:

Considerando que la velocidad del barco es lenta se tienen los siguientes resultados

Tabla 29 Cálculo de la franja de resguardo

Ancho respecto a las orillas del talud "Tr"	Velocidad del barco	Canal exterior expuesto	Canal interior abrigado
Orillas del canal con pendiente y profundas	L	0,3M	0,3M
		12,84	12,84

El valor para la franja de resguardo de talud que se tomó es de 12,84 m, dado que el canal no está dentro de la zona abrigada por el rompeolas.

Contrabilidad del barco

Tabla 30 Cálculo de la contrabilidad del barco

Controlabilidad del barco	Buena	Regular	Mala
N	1,3 M	1,5 M	1,8 M
	55.64	64.2	77.04

Se consideró que la maniobrabilidad de la embarcación es mala, debido a que es de tipo Post-Panamax; por lo tanto N=77,04 m.

Sobreanchos de maniobra

Tabla 31 Cálculo de sobreanchos de maniobra

Ancho ni	Canal exterior	Canal interior
	Expuesto	Abrigado
Velocidad del barco "Vb" (nudos) 5-8	0	0
Viento dominante ≤ 15 nudos	0	0
Corriente transversal dominante (nudos) media >0.5 - 1.5	1	0.8
Corriente longitudinal dominante (nudos) media >1.5 - 3	0	0
Altura de la cresta del oleaje significativa Hs y su longitud λ (m)	1.5	0
Ayudas a la navegación, buenas	0.1	0.1
Superficie de fondo, con pendiente firme	0.1	0.1
Profundidad del canal	0.2	0.4
Nivel de riesgo de la carga	0	0
Σ	2.9	1.4

El valor de los sobreanchos es de 2,9 porque se trata de un canal que no está protegido por el rompeolas.

Por lo tanto el ancho del canal de acceso es:

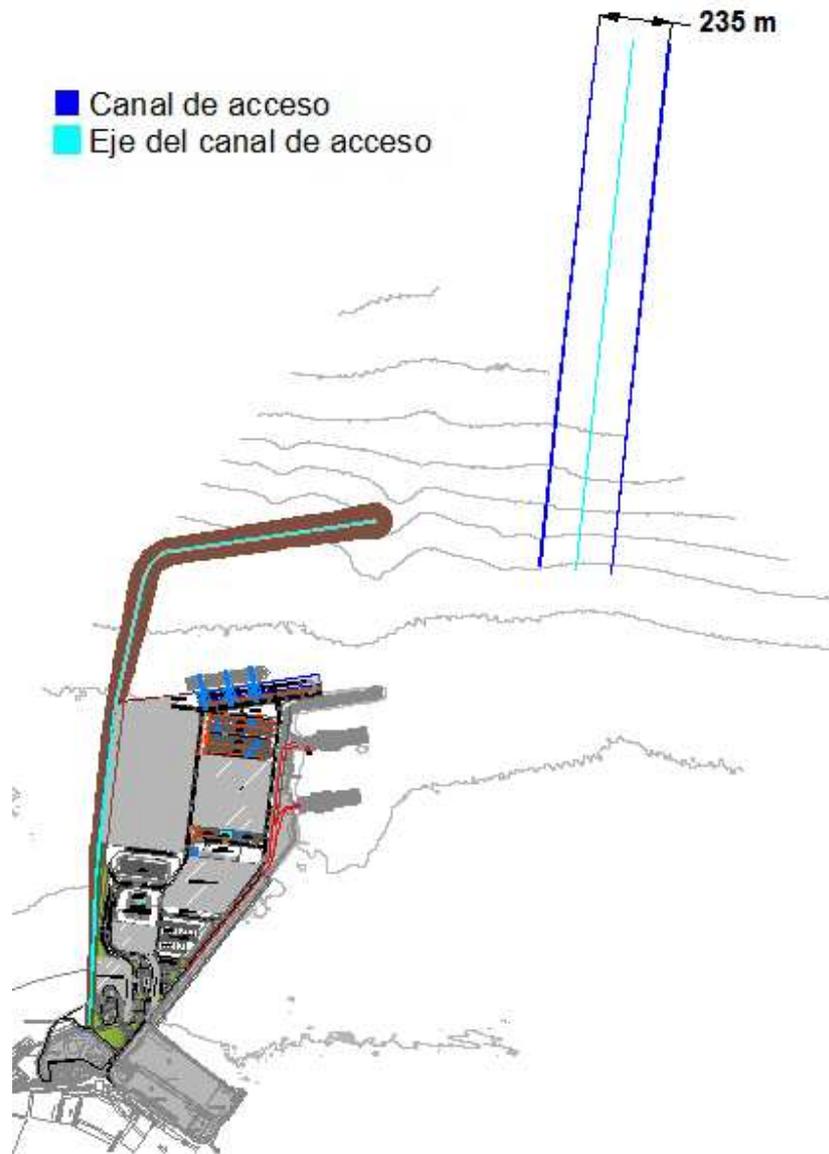
$$B = 12,84 + 77,04 + 2,9(42,8) + 12,84$$

$$B = 226,84 \text{ m}$$

El ancho del canal de acceso de proyecto lo tomamos de 235 m, para tener un margen de seguridad.

La siguiente figura muestra una vista en planta del canal de acceso y su ancho de 235 m.

Figura 90 Ancho del canal de acceso
(Fuente: Propia)



d) Profundidad

El tirante mínimo de agua debajo de un buque atracado tiene un valor base de:

Trim (30 cm) + resguardo (50 cm) + precisión del sondeo (10 cm) = 90 cm

Para el diseño se consideró el tirante mínimo de agua debajo del buque; entonces la profundidad de calado es de:

Profundidad = Calado del buque con carga + Tirante mínimo de agua debajo del buque

Profundidad= 15,00 m + 0,90 m = 15,90 m

Entonces el nivel de dragado de proyecto es de 16,00 m.

2. Áreas de Maniobra

a) Dársena de Ciaboga

Dado que la embarcación va a ser ayudada por remolcadores, entonces la clasificación y diámetro de la dársena queda de la siguiente manera:

Tipo de dársena de Maniobras

Tabla 32 Clasificación de la dársena de maniobra

CLASIFICACIÓN DE LA DÁRSENA	TAMAÑO		OBSERVACIONES
			RESPECTO AL BARCO
Pequeña	<2E	704	Maniobra difícil y requiere ayuda de remolcadores

Forma de realizar la operación de ciaboga

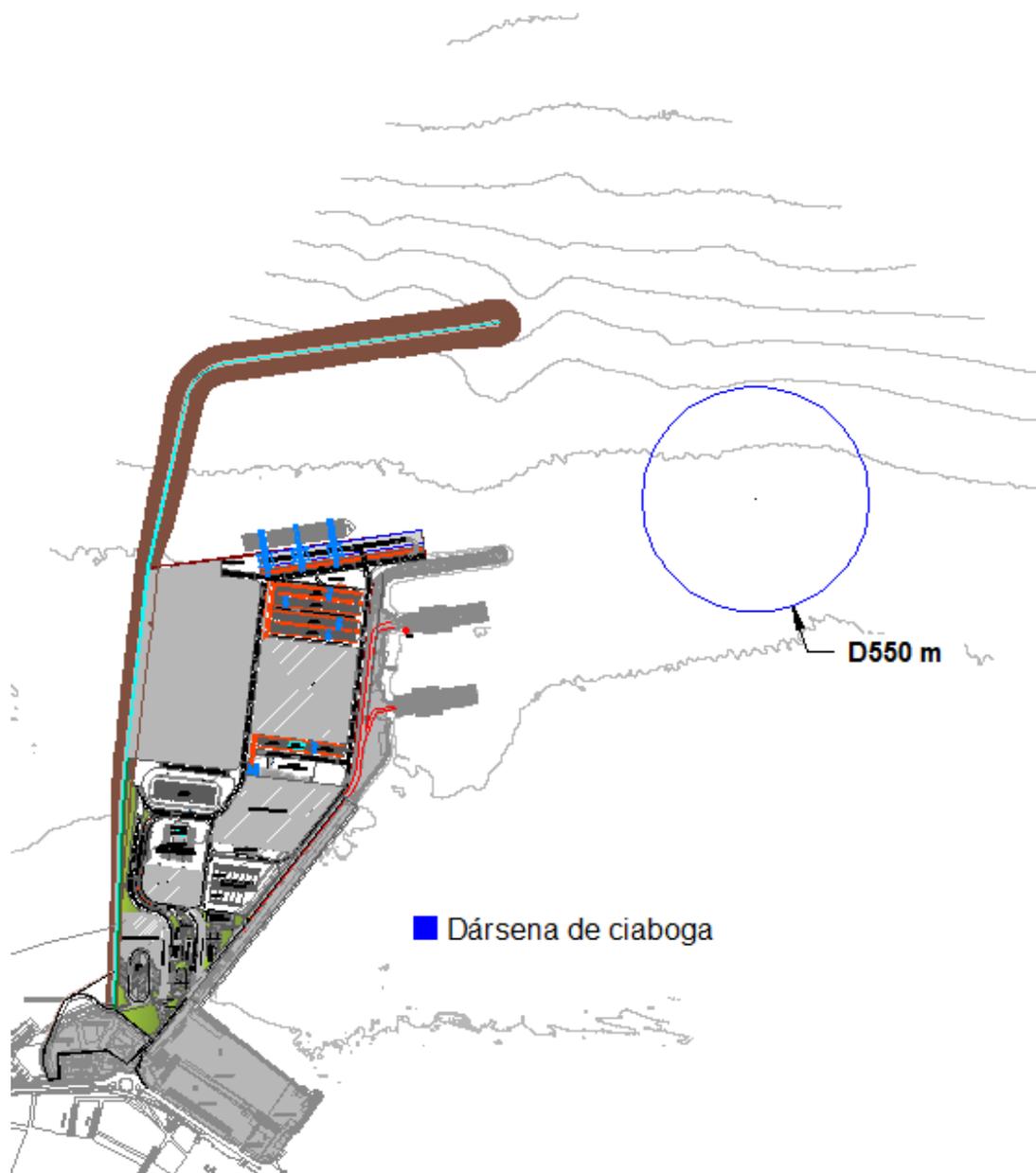
Tabla 33 Cálculo de las dimensiones de la dársena de ciaboga

CONDICIÓN	MODO DE REALIZAR LAS MANIOBRAS POR EL BARCO	DIÁMETRO O DIMENSIONES	
Dársena sin restricción de espacio	Con ancla y remolcador por presencia de viento y corriente	1,5E	528

De los resultados anteriores se decidió que el diámetro de la dársena de ciaboga sea de 550 m.

La siguiente figura es una vista en planta de la dársena de ciaboga (diámetro de 550 m).

Figura 91 Dársena de ciaboga
(Fuente: Propia)



b) Dársena de Servicios

El ancho de la dársena de atraque está dado por la siguiente ecuación:

$$W = 8M$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$W = 8(42,8)$$

$$W = 342,4 \text{ m}$$

Sin embargo se tiene previsto que se ampliará el rompeolas, y esta ampliación va a tener un ángulo de inclinación de 30° respecto al rompeolas de la etapa 1; por lo que es necesario calcular un sobreancho en la dársena de maniobra.

El sobreancho de acuerdo al PIANC, 1997 se calcula con:

$$\Delta B = E/40$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\Delta B = 352/40$$

$$\Delta B = 8,8 \text{ m}$$

Por lo tanto el ancho total de la dársena de atraque es:

$$\text{Ancho} = W + \text{sobreancho}$$

$$\text{Ancho} = 342,4 + 8,8$$

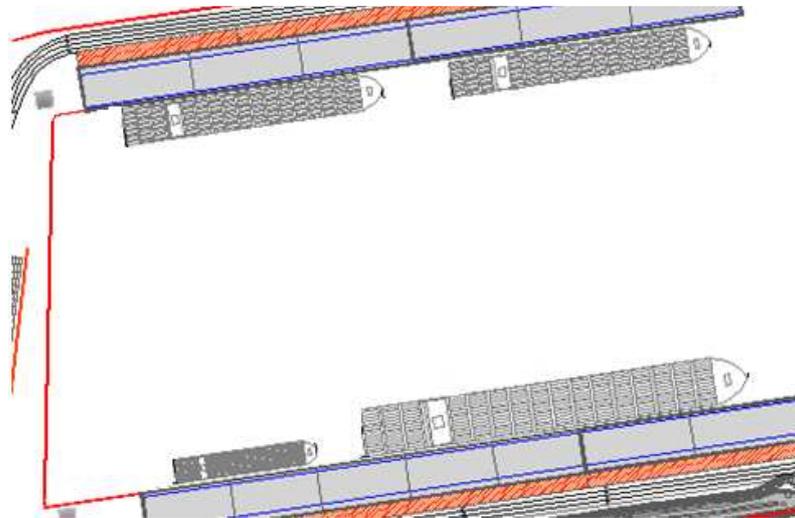
$$\text{Ancho} = 351,2 \approx 352 \text{ m}$$

Para la etapa 3 del proyecto se tiene contemplado que van a atracar:

- Una embarcación grande y una pequeña
- Dos embarcaciones medianas

A continuación se muestra una vista en planta de las embarcaciones que van a atracar en la etapa 3:

Figura 92 Embarcaciones
(Fuente: Propia)



Las dimensiones de las embarcaciones son las siguientes:

Tabla 34 Tipo de embarcaciones

	Eslora	Manga	Tonelaje Peso Muerto
Grande	352 m	42,8 m	109. 000 ton
Mediana	237 m	32,2 m	40. 000 ton
Pequeña	130 m	21,2 m	10. 000 ton

Por lo tanto la longitud de la dársena de servicio de acuerdo con las combinaciones y dimensiones anteriores queda de la siguiente manera:

1. Una embarcación grande y una pequeña

$$L = 42,8 + 352 + 42,8 + 130 + 21,2$$

$$L = 588,8 \text{ m}$$

2. Dos embarcaciones medianas

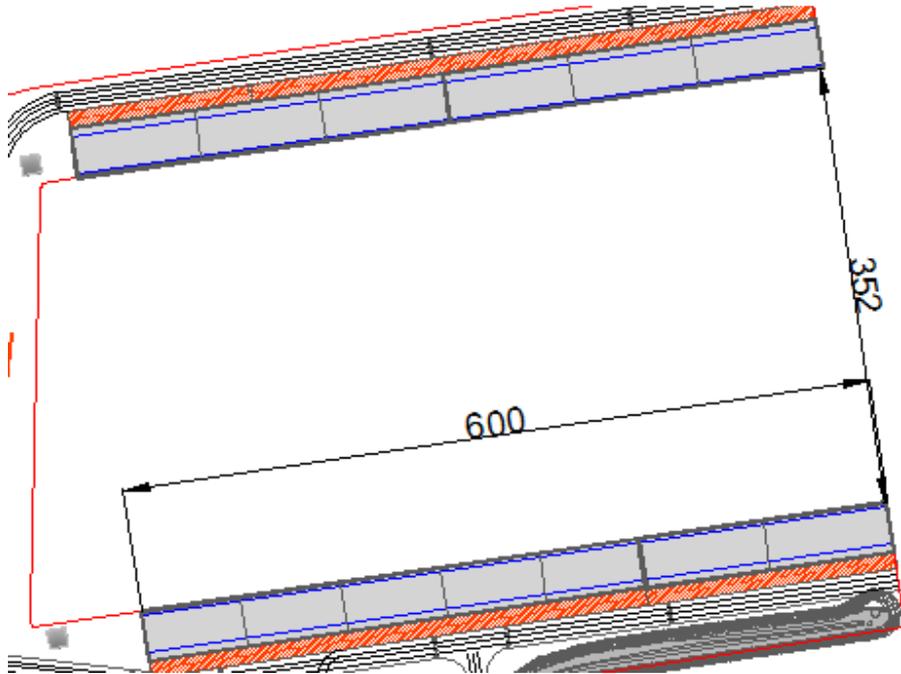
$$L = (2 * 237) + (3 * 32,2)$$

$$L = 570,6 \text{ m}$$

De acuerdo a los resultados anteriores (588,8 m y 570,6 m) la longitud de la dársena de atraque es de 600 m.

La siguiente figura muestra las dimensiones de la dársena de atraque:

Figura 93 Dimensiones de la dársena de atraque
(Fuente: Propia)



A continuación se presenta una vista en planta de la plantilla del canal de acceso y la dársena de ciaboga; así como la proyección del talud.

Figura 94 Áreas de navegación
(Fuente: Propia)

