

Paper 34 – Proyecto Básico del Puerto de Aguas Profundas, Departamento de Rocha, República Oriental del Uruguay

Acuña, S.P.; Campos, M.R.; Schwarz, R.; Cardini, J.C.
Serman & asociados S.A.; CSI-Ingenieros S.A.

Email: acuna@serman.com.ar

ABSTRACT: El Gobierno de la República Oriental del Uruguay decidió iniciar estudios de factibilidad para impulsar el desarrollo de un Puerto de Aguas Profundas (PAP) en la costa este del país sobre el Océano Atlántico en el paraje El Palenque ubicado en el departamento de Rocha, con el objeto de constituir en la región un nodo concentrador de cargas (hub) que permita atender una demanda potencial de cargas nacionales y regionales, contribuir a mejorar la competitividad de las producciones del Uruguay, fomentar el desarrollo de nuevas actividades, y promover al país en el mediano y largo plazo, como polo de desarrollo logístico regional.

En este propósito, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) contrató al Grupo Consultor Serman & Asociados S.A. - CSI Ingenieros S.A para realizar los estudios de ingeniería necesarios para definir a nivel básico las obras portuarias y alcanzar una estimación inicial de las inversiones requeridas.

Se inició el desarrollo del Proyecto Básico, teniendo como punto de partida una configuración portuaria preliminar y estudios básicos de campo brindados por el MTOP, los cuales fueron revisados y analizados para determinar los pasos a seguir en pos de optimizar la elección y disposición de los componentes del puerto.

De esta manera, se abordó el análisis de los dos campos principales que se deben considerar para analizar la configuración portuaria, que son: a) los requerimientos operativos y funcionales de los sectores portuarios en función de la demanda potencial, y b) las características y condiciones físicas del área elegida para su implantación.

Como aspectos destacados en el desarrollo del proyecto básico vale la pena mencionar:

Definición de la tipología portuaria y obra de abrigo exenta a la costa: el puerto se implantó en la isobata -17 m, buscando minimizar las obras de dragado en el vaso portuario y en función del estudio de tráfico inicial antecedente brindado por el MTOP, se decidió realizar una única escollera exenta a la costa, vinculando el puerto a tierra, mediante un viaducto transparente de 2 Km de longitud. Esto permitió disminuir la longitud de obra de abrigo necesaria, en comparación con una típica configuración de dos escolleras.

Importancia de los estudios de clima marítimo y agitación para la definición de la orientación de la boca de acceso del puerto, disposición de las obras de abrigo y de los sitios de atraque: considerando la ubicación oceánica del PAP, se realizaron estudios mediante modelación matemática de las condiciones del clima marítimo a partir de los cuales se analizaron distintas configuraciones con el objeto de determinar la más conveniente en relación a la disposición en planta de la escollera y la orientación de su boca de acceso, en cuanto a la agitación en los sitios de atraque.

Importancia del clima marítimo y condiciones de agitación para la definición de la tipología de obra y sus facilidades constructivas: en base a los estudios del clima marítimo realizados, se decidió proyectar la obra de abrigo en talud en lugar del paramento vertical previsto en la configuración preliminar antecedente, debido principalmente a la experiencia que se tiene en la zona, en la construcción de obras de abrigo en una costa oceánica abierta con permanente presencia de trenes de olas, que impone restricciones especialmente en la zona de rompiente para la navegación de elementos de grandes dimensiones como pueden ser los cajones flotantes. Se corroboró también a nivel conceptual, las condiciones de sobrepaso y transmisión del oleaje para condiciones extremas de tormenta, definiendo de esta forma la cota de coronamiento de la escollera.

Consideraciones en el diseño de obras de abrigo de gran altura (hasta 23 m): la obra de abrigo proyectada de 4126 m de longitud, se desarrolló en su mayoría en profundidades del orden de 17 m, siendo la altura total resultante de 23 m. La coraza se proyectó mediante bloques premoldeados tipo Accropode II, y debido a la gran altura de la obra, se tuvo que considerar la ejecución de una berma de roca entre el lecho y el pie, que permitiera disponer el número máximo de elementos a lo largo del talud requerido en el diseño de este tipo de obras.

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto del Puerto de Aguas Profundas (PAP) inició su etapa preliminar, mediante la ejecución de estudios básicos de campo y estudios preliminares de planificación, que dieron lugar a la definición de una configuración portuaria que contempló el trazado y disposición en planta y alzado de las obras de abrigo requeridas, la distribución de los sitios operativos en el recinto portuario y la definición del canal de acceso y zona de maniobras.

Dicha configuración portuaria fue el punto de partida para la segunda etapa de Proyecto Básico, la cual permitió ajustar y optimizar diversos aspectos gracias a la profundización en los estudios básicos de campo y aquellos relacionados con la mejor definición de los parámetros de diseño medioambientales. A continuación se describen los principales aspectos que fueron considerados para lograr la optimización del diseño preliminar, poniendo énfasis en los trabajos realizados para lograr un diseño versátil de fácil adaptación a nuevas etapas de crecimiento y desarrollo, el cual a su vez permitió conocer los niveles básicos de inversión necesarios para la concreción de un proyecto de semejante magnitud.

2 Metodología

2.1 Revisión de antecedentes y Estudios básicos

El estudio de los antecedentes siguió un orden de prioridades que se inició con una revisión y un análisis crítico de los trabajos de consultoría efectuados en el marco de la "Contratación de servicios de Consultoría Experta para el Desarrollo del Plan Maestro y la Configuración Portuaria del Puerto de Aguas Profundas", que comprendió dos etapas, la primera de Auditoría de los Estudios Básicos y Elaboración del Plan Maestro y la segunda con la definición de la Configuración Portuaria. Como consecuencia de esta revisión fue necesario efectuar un ajuste de tareas en relación con la configuración portuaria. Sucesivamente y a medida que lo exigió el avance de los trabajos, se fueron agregando otros antecedentes y estudios previos, referidos a diversos aspectos físicos y ambientales: topografía, batimetría, geotecnia, geofísica, oceanografía, meteorología y otros. El análisis y la evaluación de dichos antecedentes dieron lugar a la formulación de estudios

complementarios, particularmente referidos a batimetría, olas, agitación portuaria y procesos litorales.

En lo que se refiere a los parámetros operativos del puerto como tráfico y cargas, movimientos previstos, orígenes y destinos, buques y composición de las flotas, etc, se tomó como punto de partida, la información suministrada por el MTOP, sin realizar ninguna evaluación adicional, según los requerimientos y directrices marcadas por el mismo.

2.2 Estudios de configuración portuaria

Los estudios de configuración portuaria fueron encarados en base a los requerimientos operativos provistos por el MTOP en el estudio de demanda correspondiente.

En la tabla siguiente se resumen los requerimientos mencionados proyectados a un horizonte de 15 años.

CARGA	ORIGEN DESTINO	MOVIMIENTO		CANTIDAD DE SITIOS PARA BUQUES		
		Tipo	Cantidad tons/año	Cape Size Nº	Handymax Nº	Otros Nº
-	-	-	-	-	-	-
Mineral de hierro	Cuenca del Plata	Trasbordo	10.000.000	1	2	-
Mineral de hierro	Aratiri (ROU)	Exportación	20.000.000	1	-	-
Agrograneles	Argentina ROU	Trasbordo	10.000.000	1	2	-
Contenedores	Argentina ROU	Trasbordo	800m de frente	-	-	2 New Panamax
Hidrocarburos	ANCAP	Descarga	-	-	-	1 Cape Size o mayor

Figura 1: Requerimientos operativos

En base a los mismos, se definió la cantidad de sitios de transferencia necesarios y se inició el planteo de distintas alternativas que tuvieron en cuenta aspectos como:

- Contar con suficiente flexibilidad para ajustarse a eventuales cambios en los requerimientos
- Permitir una futura expansión sin afectar las obras iniciales
- No sobrepasar la base fijada en la costa
- Lograr una obra básica con mínima inversión inicial
- Asegurar en lo posible costos operativos mínimos de las futuras terminales
- Cumplir con recomendaciones internacionales en términos de usos y seguridad portuarios
- Evitar daños ambientales.

El primer punto que se consideró fue la implantación del puerto respetando el espacio disponible de frente costero de 3.5 km definido como parámetro inicial del proyecto. En base al mismo se proyectaron los espacios terrestres y acuáticos, cuidando no sobrepasar dicha limitante.

El segundo aspecto sobre el que se avanzó, fue la definición de una sola obra de abrigo exenta a la costa, con una longitud y disposición suficiente para poder generar un recinto portuario apto para atender la flota de buques de diseño definida en el estudio previo de demanda (ver Figura 1).

Se eligió la isobata -17 m como límite para ubicar la obra de abrigo, buscando minimizar las obras de dragado del vaso portuario, pero cuidando de no encarecer en demasía los costos por la mayor profundidad para la obra de abrigo y extensión del viaducto de acceso a tierra.

En cuanto a la tipología de obra, se eligió la misma en talud en lugar del paramento vertical previsto en la configuración preliminar antecedente, debido principalmente al clima marítimo reinante, que dificultaría los trabajos de construcción (traslado y colocación) de los cajones flotantes.

En base a dicha definición, se proyectaron varias configuraciones, variando la extensión y orientación de la obra de abrigo, buscando generar distintas alternativas que pudieran evaluarse mediante modelación matemática del clima marítimo y agitación portuaria.

En la Figura 2 se puede apreciar la definición de las dos grandes áreas del PAP:

- El sector náutico apto para recibir buques de ultramar y de navegación regional.
- El sector terrestre con la definición general de los espacios requeridos para operar con graneles (agroproductos, minerales e hidrocarburos) y contenedores (carga general).



Figura 2: Distribución general del PAP

2.3 Estudios del clima marítimo y agitación portuaria

Condiciones de oleaje-Modelo matemático de generación y transformación de olas STWAVE

Se realizó el estudio del clima marítimo, buscando definir con mayor certeza los parámetros de diseño relacionados con el oleaje, viento y niveles del mar. Se implementó un modelo matemático de generación y transformación de olas, que permitió caracterizar el clima de oleaje en la zona de implantación del PAP, dando como resultado la distribución direccional que puede apreciarse en la Figura 3.

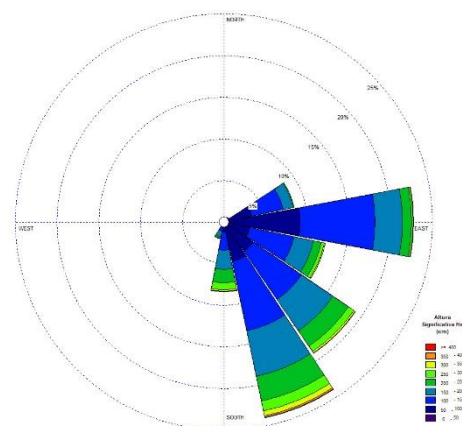


Figura 3: Rosa de oleaje en la zona de implantación del PAP.

- Oleaje extremal

Se determinaron las condiciones de oleaje extremal para diseñar la obra de abrigo, y también para verificar el sobrepaso (overtopping) y transmisión del oleaje en los distintos sectores de la escollera.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura:

Tr [años]	SSO	S	SSE	SE	ESE	E	ENE	Máxima
2	2,89	4,02	3,84	3,71	3,47	3,31	2,31	4,02
5	3,18	4,31	3,99	3,88	3,58	3,42	2,40	4,31
10	3,37	4,50	4,08	4,00	3,66	3,49	2,47	4,50
20	3,55	4,68	4,18	4,10	3,73	3,56	2,53	4,68
25	3,60	4,74	4,21	4,14	3,76	3,58	2,55	4,74
50	3,78	4,91	4,30	4,25	3,83	3,65	2,61	4,91
100	3,96	5,09	4,39	4,35	3,90	3,72	2,67	5,09
Tp (seg)	8	9	10	10	9	9	7	9
Coef. R.	0,982	0,964	0,909	0,953	0,964	0,986	0,988	

Tramo del Rompeolas	Altura significativa Hs (m)		Período Pico Tp (s)
	Lado Externo (mar)	Lado Interno (puerto)	
Morro Principal	5,0	5,0	9
Tramo 1	4,4	4,0	10 (ext) / 8 (int)
Tramo 2	5,0	4,0	9 (ext) / 8 (int)
Tramo 3	5,0	-	9
Tramo 4	5,0	-	9
Tramo 5	4,4	-	10

Figura 4: Altura significativa de ola para diseño de la escollera

3 Resultados

3.1 Ubicación y disposición de las obras de abrigo

El primer punto que se ajustó en relación a la configuración preliminar fue la orientación de la boca de acceso. En base a los estudios realizados, se determinó que la mejor configuración era aquella cuya boca de acceso se encontraba hacia el SO.

Este cambio, repercutió en la disposición general de la obra de abrigo y en el trazado del canal de acceso y zona de maniobra.

3.2 Distribución de los sitios de atraque

La distribución de los sitios de atraque se realizó teniendo en cuenta las condiciones climáticas límites de operación que habitualmente suelen adoptarse para este tipo de instalaciones.

Es decir, que en función de los valores límites de viento, corriente y altura de ola considerados, se realizó la distribución de los sitios, para posteriormente corroborar y/o ajustar la ubicación, mediante el modelo de agitación, teniendo en cuenta además, los tiempos medios aceptables de cierre que podría tener el puerto por la presentación de condiciones climáticas adversas superiores a las establecidas como límite de operación.

En base a estas consideraciones, se realizó la siguiente distribución de sitios:



Figura 5: Distribución de sitios de atraque

Se puede apreciar entonces la ubicación de la posta de inflamables en la zona más externa del puerto, a continuación la zona para movimiento de carga general/contenedores en la zona más protegida y por último, la zona para movimiento de agrograneles y minerales.

3.3 Canal de acceso y zona de maniobras

3.3.1 Canal de acceso

El canal de acceso al PAP fue modificado en relación al diseño preliminar, debido principalmente al cambio en la orientación de la boca de acceso del puerto. Se definió un canal de una sola vía, de 11.3 Km de longitud, cuyo trazado cuenta con una sola curva de gran amplitud, ubicada en el Km 3.2 aproximadamente.

El alineamiento se definió considerando los criterios básicos de diseño de vías navegables incluidos en las recomendaciones internacionales de mayor relevancia en el tema (Norma Española ROM 3.1-99 y PIANC – Permanent International Association of Navigation Congresses), cuyas premisas son:

- Trazado lo más rectilíneo posible: el diseño contempla una única curva a lo largo de todo el desarrollo del canal.
- Tramos rectos en proximidad de la boca de entrada: antes de alcanzar el morro principal de la escollera, el canal cuenta con un tramo rectilíneo de 8 veces la eslora del buque más grande.

- Radio de curvas de 5 a 10 veces la eslora: la única curva del canal cuenta con un radio de 10 veces la eslora.
- Ángulo entre alineaciones rectas menores a 30°: el diseño contempla un ángulo de 30° en la curva.

Para la determinación del ancho, se aplicaron las metodologías de cálculo típicas, considerando el ancho de maniobrabilidad básica y sus correspondientes sobreanchos por el efecto de las condiciones climáticas, superficie del fondo, presencia de veriles, entre otros.

El ancho del canal resultante fue de 200 m, siendo la manga del buque de proyecto 46 m, correspondiente al buque tipo Capesize. En la curva, se consideró un sobreancho de 20 m, debido a la revancha que se deben tener por el giro de la popa durante la travesía en la curva y también por la disminución en la velocidad que pueda tener el buque. Estos sobreanchos consideran un valor de $K = 0,5$ (distancia del punto giratorio a la popa del buque).

En cuanto a la profundidad, se aplicó la metodología recomendada en las normas ROM 3.1-99, partiendo de un calado estático de 18 m correspondiente al buque Capesize. La profundidad resultante fue de 21 m al cero PRH. En la siguiente figura se puede apreciar el trazado general del canal de acceso en toda su extensión.

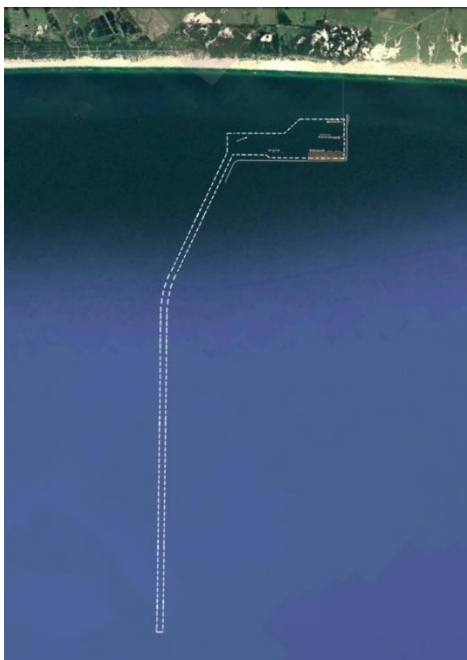


Figura 6: Canal de acceso

El diseño del canal del acceso fue comentado y avalado por los profesionales a cargo del pilotaje y maniobra de los buques, siendo muy valiosa su participación especialmente en la definición de la longitud del tramo de la escollera que se extiende entre el Morro Principal y el primer giro de la misma.

3.3.2 Zona de maniobra y recinto portuario

El canal de acceso culmina en la zona de maniobras, la cual se definió como un rectángulo de 500 m de ancho por 700 m de longitud con una profundidad de 20 m al cero. Dicha profundidad se mantuvo en los sectores de la posta de inflamables, en los sitios de carga del muelle de agrograneles, minerales y contenedores, mientras que para los sitios de descarga donde se previó la operación de buques de menor porte tipo Handymax, la profundidad se definió en 15 m al cero.

3.4 Diseño en planta y sección transversal de la obra de abrigo

La obra de abrigo del Puerto de Aguas Profundas, se diseñó considerando la necesidad de garantizar condiciones de aguas calmas en los sitios de operación definidos para el desarrollo del proyecto. Se optó por realizar una obra de abrigo en talud, de tipo escollera, en lugar de una obra de paramento vertical, debido principalmente a la experiencia que se tiene en la zona, en la construcción de obras de abrigo en una costa oceánica abierta con permanente presencia de trenes de olas, que impone restricciones especialmente en la zona de rompiente para la navegación de elementos de grandes dimensiones como pueden ser los cajones flotantes. También, se consideró la experiencia local en el uso de soluciones de obras de abrigo en talud en lugar de obras de paramento vertical, que se traducen en un mejor conocimiento de la logística de explotación, provisión de materiales y construcción de cada elemento que conforma la obra de abrigo.

La extensión y disposición final de la escollera se optimizó mediante los estudios de agitación realizados, siendo la longitud resultante de 4.126 m. El primer tramo de 1.121 m se orientó en forma perpendicular a la costa entre las isobatas -15 y -17. El segundo tramo de 2.440 m se ubicó en forma paralela a la costa sobre la

isobata -17 y el tercer y último tramo de 565 m se orientó en sentido Sur alcanzando profundidades de -17.50 m en el morro principal.

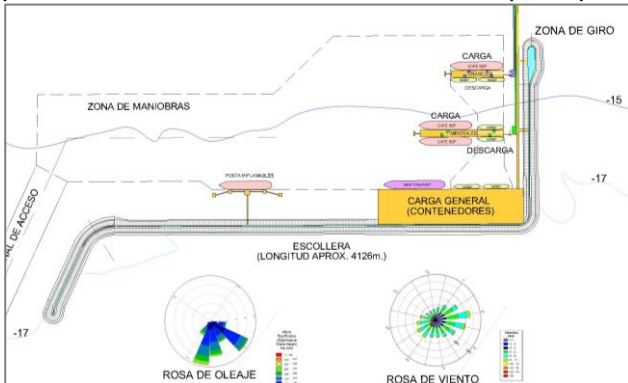


Figura 7: Layout escollera

La estructura de la escollera se diseñó con un núcleo de piedra de forma y ubicación aleatoria, cubierto por una "subcapa" de filtro o transición, protegida por una coraza de bloques de hormigón especialmente diseñados. La distribución de las capas, el peso de los elementos que la constituyen, los taludes de la escollera, la forma de los bloques de la coraza, el espesor de cada capa y el ancho en el coronamiento son parámetros que fueron definidos en esta etapa de Proyecto Básico, siguiendo las Reglas del Arte para el cálculo y diseño de este tipo de estructuras.

El diseño realizado, siguió los lineamientos propuestos por el "Shore Protection Manual" (SPM), Manual on the use of rock in Coastal and Shoreline Engineering de CIRIA CUR, ampliamente conocidos como documentación de referencia a estos efectos y por la documentación de diseño del Coastal Engineering Research Centre (CERC) en base a la cual, la firma Concrete Layer Innovations (CLI) realiza sus tablas de guía para la adopción del bloque de coraza Accropode II®.

Como resultado final, se obtuvo una escollera sectorizada en función del tamaño del bloque adoptado para la coraza, donde además se consideró la necesidad de colocación de una berma de roca entre el lecho natural y el pie de la estructura de manera de garantizar la cantidad máxima de elementos a lo largo del talud. Los sectores se denominaron: Morro Principal, Tramo 1, Tramo 2, Tramo 3, Tramo 4, Tramo 5 y Morro Secundario.

Sección transversal – Cota de coronamiento

Como aspectos importantes a tener en cuenta en el diseño de las secciones transversales, vale

la pena mencionar los criterios adoptados para definir la cota de coronamiento de la escollera a lo largo de toda su longitud, y su incidencia en el recinto portuario o zonas adyacentes a la escollera, por el sobrepaso y transmisión del oleaje. Este aspecto tiene gran importancia a la hora de diseñar una estructura como esta, ya que incide por una parte directamente en el funcionamiento de las áreas náuticas del puerto y por otra en los costos de la inversión básica del proyecto debido a la menor o mayor altura resultante de la obra.

Bajo estos considerandos, se realizó el análisis del caudal medio de descarga q (overtopping) por el sobrepaso de la ola, expresado como una descarga por metro lineal (l/s/m). Este parámetro, que permite definir la respuesta hidráulica de la obra, se debe considerar en la verificación de la estabilidad de la sección, y debe ser uno de los aspectos a evaluar con mayor detalle en la etapa de Proyecto Ejecutivo y modelación física.

Para la presente etapa de proyecto, se realizó una estimación del caudal medio de sobrepaso, basada en las formulaciones empíricas existentes en las recomendaciones internacionales del Coastal Engineering Manual (CEM) y EurOtop Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual 2007 que tiene la forma:

$$q = Q * \sqrt{g * H_s^3}$$

$$Q = 0,2 * e^{-2,3 * R_c / H_s * \gamma_f * \gamma_\beta}$$

Donde:

H_s = altura de ola significativa en frente de la estructura

R_c = diferencia vertical entre el nivel máximo de agua y la altura de la cresta

γ_f = factor de reducción por rugosidad (depende del tipo de bloques de la coraza). Para bloques Accropode® es de 0.40.

γ_β = factor de reducción por ángulo de ataque del oleaje sobre la coraza

Para determinar en primera medida el parámetro R_c , relacionado con la distancia vertical entre el nivel máximo del agua (adoptado en +2.70 m) y la cresta de la escollera, se establecieron las correspondientes cotas de coronamiento. Dicho parámetro, se asumió en

forma diferenciada, en función de las operaciones que se realizan al reparo de la escollera y de la influencia que podría tener en las mismas el caudal de sobrepaso o incluso el "splash" por la incidencia del oleaje.

En los sectores ubicados hacia el Sur (Morro Principal y Tramo 1) y Tramos 2 y 3, en los cuales no se cuenta con explanadas ni playas de operación detrás de la escollera, la cota de coronamiento de la calzada se definió en +4.0 m. Para los tramos 4 y 5, referentes al sector de la playa de contenedores, la cota se elevó a +5.0m. A su vez la cresta de la coraza, se definió en +6.0m para los tramos 1, 2, 3 y 5 y de +7.0 m para el tramo 4, el cual se desarrolla a lo largo de la explanada para contenedores y carga general. Como punto final para el tramo 4, cuya exigencia en cuanto al sobrepaso admitido es mayor por la presencia de la playa de operaciones, se optó por elevar el espaldón 4 m por encima de la cresta de la coraza.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos del caudal medio q de sobrepaso (overtopping), para cada tramo de la escollera, considerando eventos extremos de oleaje y nivel de agua para un $Tr = 100$ años, y su comparación con los valores que brindan las recomendaciones según el caso más apropiado de análisis.

Tramo	Caudal de sobrepaso estimado	Caudal límite según recomendaciones	Observaciones
	q (l/s/m)	q (l/s/m)	
Morro Principal	100,14	50-200	No hay daño si la Cresta, la Calzada y la coraza interna están bien protegidas
T-1	44,68	50-200	Ídem anterior
T-2	105,77	50-200	Ídem anterior
T-3	105,77	50-201	Ídem anterior
T-4	0,85	0,4 - 1	Recomendación para equipos ubicados a 10 m del muro de coronamiento
T-5	17,18	50-200	Ídem anterior

Como se puede apreciar en la tabla, los valores obtenidos para la máxima condición evaluada, son aceptables para todos los sectores analizados. Para el caso del tramo 4, el cual se

desarrolla a lo largo de la explanada de la playa de contenedores y carga general, el sobrepaso es muy bajo, debido a que el espaldón se eleva 4 m por encima de la cresta de la escollera, lo cual limita satisfactoriamente el sobrepaso del oleaje.

El siguiente punto que se analizó como parámetro para definir la cota de coronamiento, fue la transmisión del oleaje al recinto portuario. Se realizó la verificación preliminar, calculando la altura de oleaje que se transmitiría del otro lado de la escollera por acción del oleaje de diseño Hs para 100 años por efecto del sobrepaso. La formulación aplicada fue la siguiente:

$$Kt = -0,4 * Rc / Hs + 0,64 * (B / Hs)^{-0,31} * (1 - e^{-(0,5 * \xi_{op})})$$

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la siguiente tabla:

TRAMO	ALTURA DE OLA INCIDENTE	ALTURA DE OLA TRANSMITIDA
	m	m
Morro	5,0	1,17
T-1	4,4	1,16
T-2	4,4	1,36
T-3	5,0	1,36
T-4	5,0	0,00
T-5	4,4	1,09

Como se puede apreciar, para la máxima condición de oleaje incidente y nivel de agua, los valores de ola transmitida se encuentran en el orden de 1,2 a 1,4 m, los cuales se consideran aceptables para una situación de tormenta extrema con período de retorno de 100 años.

Sección transversal – Diseño Coraza

Para el caso que nos ocupa, no resultó factible la extracción y transporte de bloques de piedra de tamaños adecuados, con lo cual se optó por la utilización de bloques de hormigón premoldeados para la conformación de la coraza exterior.

Se eligieron los bloques Accropode II®, por permitir pendientes más empinadas que disminuyen el volumen global de la escollera, y también por el criterio de diseño que implica la "ausencia de movimiento" de bloques para la ola de diseño, con lo cual se asegura que no se

requerirá mantenimiento de la obra para dicha condición.

El cálculo del tamaño del bloque requerido, se calculó de acuerdo con las recomendaciones del Coastal Engineering Research Centre (CERC), mediante la aplicación de la fórmula empírica de Hudson (1959).

Debido a las profundidades en que se desarrolla la totalidad de la escollera (de 15m a 17.50 m), las olas incidentes no se encuentran en condición de ola rompiente, siendo a su vez la pendiente del lecho muy suave menor al 1%.

El valor del coeficiente de estabilidad KD se adoptó igual a 12.3 en el morro principal y de 16 para las secciones correspondientes al tronco de la escollera. La pendiente del talud se adoptó en 1:1,33 (4 H: 3 V) a fin de minimizar el volumen de hormigón, teniendo en cuenta el buen comportamiento de los bloques para esta pendiente. Aplicando la formulación y parámetros de cálculo descritos anteriormente, el tamaño de bloque resultante fue:

SECCION N°	CORAZA – Bloques Accropode II Volumen unidad (m³)
Morro Principal	4
S1 -Ext	2
S1 -Int	2
S2 -Ext	3
S2 -Int	2
S3	3
S4	3
S5	2
Morro Secundario	3

Vale la pena destacar que este tipo de obras monocapa, requiere limitar la cantidad de filas de bloques sobre el talud a no más de 20. Esto se debe considerar especialmente en obras de gran altura como la presente, en las que se pueden registrar asentamientos y reacomodamientos de los elementos constituyentes de la sección.

Para conformar la sección teniendo en cuenta esta recomendación, se tuvo en cuenta la aplicación de las siguientes dos soluciones:

1. Elevar el nivel del pie, creando una berma de roca que se eleve desde el lecho hasta el nivel donde se alcanzan las 20 filas de bloques sobre el talud.
2. Aumentar el tamaño del bloque de la coraza de manera cubrir el talud con menor cantidad de filas.

El diseño final adoptado, surgió como resultado de combinar las dos soluciones indicadas, y además, de realizar una evaluación técnico-económica comparativa de ellas, aprovechando los beneficios de ambas soluciones.

Aumentar el tamaño de bloque implica, con el tope de 20 filas, reducir el volumen de la berma y del núcleo, con lo cual se limita el incremento de costo por mayor cantidad de piedra, y además reemplazar los bloques de menor tamaño, cuyo costo por unidad de volumen es más elevado. Un beneficio adicional y no menor de este diseño, es que se logró un incremento en la seguridad de la obra frente al oleaje incidente, pues la misma resistirá olas superiores a las de diseño en un rango del 10% al 15% según el tramo.

Los tamaños de los bloques adoptados se muestran a continuación:

SECCIÓN N°	CORAZA – Bloques Accropode II Volumen unidad (m³)
Morro Principal	6
S1 -Ext	3
S1 -Int	3
S2 -Ext	4
S2 -Int	3
S3	4
S4	4
S5	3
Morro Secundario	4

En cuanto a las demás capas que componen la solución, se definieron siguiendo las recomendaciones más usuales, definiendo por lo tanto el tamaño de la subcapa, núcleo, filtro de pie, pie de apoyo y berma en las secciones donde fue necesaria su implementación.

A continuación se muestran dos secciones representativas, correspondientes a los tramos del Morro Principal y Tramo 4 en el sector de la playa de contenedores.

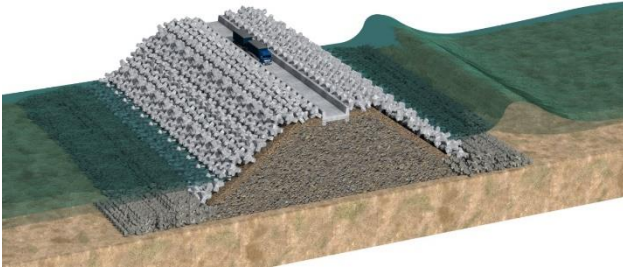


Figura 8: Sección transversal sector del Morro Principal

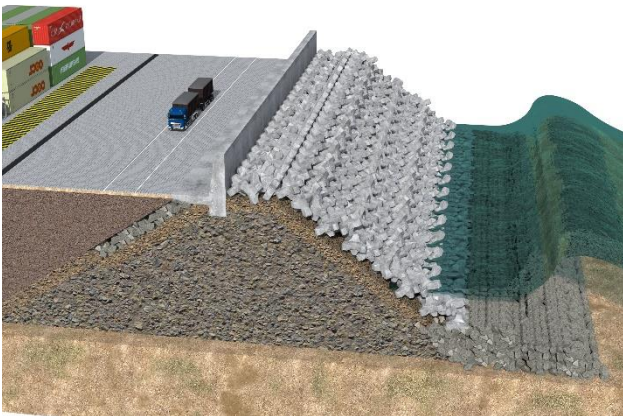


Figura 9: Sección transversal Tramo 4- Sector playa de contenedores

En la siguiente tabla se presenta a modo de resumen, los elementos que componen la sección transversal de cada tramo en que fue sectorizada la obra de abrigo.

SECCIÓN N°	COTA LECHO (m)	CORAZA		
		Vol. unit. (m³)	Espesor (m)	Vol. H° (m3/m2)
Morro Principal	-17.5	6	2.46	1.112
S1 -Ext	-17.5	3	1.96	0.89
S1 -Int	-17.5	3	1.96	0.89
S2 -Ext	-17	4	2.15	0.975
S2 -Int	-17	3	1.96	0.89
S3	-17	4	1.96	0.975
S4	-17	4	1.96	0.975
S5	-16	3	1.71	0.89
Morro Secundario	-15,00	4	1.96	0.975

SECCIÓN N°	CORONAMIENTO		SUBCAPA DE PIEDRA		
	Cota coraza (m)	Ancho núcleo (m)	Peso unit.(t)	Espesor (m)	Cota (m)
Morro Principal	6.00	23.75	1.0- 2.1	2.0	3.54
S1 -Ext	6.00	17.56	0.5 - 1.0	1.5	4.04
S1 -Int	6.00		0.5 - 1.0	1.5	4.04
S2 -Ext	6.00	17.02	0.6-1.4	1.7	3.85
S2 -Int	6.00		0.5 - 1.0	1.5	4.04
S3	6.00	5.36	0.5 - 1.0	1.7	4.04
S4	7.00	5.36	0.5 - 1.0	1.7	5.04
S5	6.00	4.66	0.3 - 0,7	1.5	4.29
Morro Secundario	6.00	40.00	0.5 - 1.0	1.7	4.04

4 PROYECTO BÁSICO DE OBRA EN TIERRA

Se realizó el proyecto básico de las obras en tierra, definiendo en primera instancia una superficie destinada a cada tipología de carga y funcionamiento operativo. En la siguiente tabla se resumen la distribución de los sectores terrestres:

FUNCIÓN	SUPERFICIE Ha
Minerales	200
Petróleo y combustibles	100
Granos y Fertilizantes	100
Contenedores	80
Carga General y Vehículos	60
Administración y Servicios	40
Estacionamiento camiones	15
Estación transformadora	5

El proyecto básico avanzó sobre la definición a nivel preliminar de aspectos relacionados con la distribución de los caminos internos, las instalaciones de energía eléctrica y las instalaciones de agua, saneamiento y drenajes.

En la siguiente figura se muestra la distribución general de los espacios terrestres:

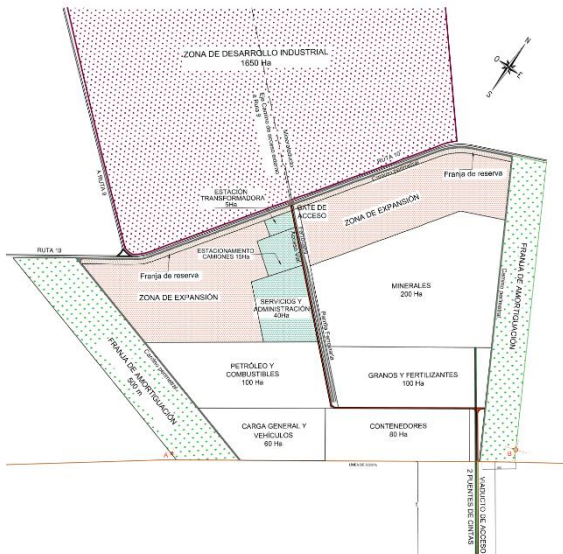


Figura 10: Distribución obras en tierra

5 COSTOS ESTIMADOS DE INVERSIÓN

El análisis de costos de las obras incluidas en el presente proyecto se integró por el cómputo de las obras y el presupuesto. Se efectuaron los cálculos métricos de los distintos ítems que forman parte de las obras en agua (escollera y dragado del canal de acceso y recinto portuario) y las obras en tierra.

Los costos, fueron estimados en base a valores generales del mercado en Uruguay con algunas referencias directas al lugar.

Los costos han sido expresados en dólares estadounidenses del mes de agosto de 2014, incluidas las Leyes Sociales.

Costo Total Estimado Infraestructura Básica de las Obras en Agua: USD 775.800.000
 Costo Total Estimado de Infraestructuras Operativas en Agua: USD 533.000.000
 Costo Total Estimado de la Infraestructura Básica Terrestre: USD 276.000.000

COSTO TOTAL PUERTO DE AGUAS PROFUNDAS (sin equipamiento): USD 1.584.800.000

6 CONCLUSIÓN

Hasta la terminación de esta etapa de diseño básico, diferentes organismos y consultores efectuaron numerosos estudios de diversos tipos, cuyos contenidos aportaron un caudal de información sobre las características y condiciones del lugar, cubriendo las necesidades que hasta la presente etapa planteó este proyecto. El avance en el desarrollo de los estudios básicos, permitió definir en forma más precisa algunos parámetros de diseño de

gran importancia como el clima marítimo, lo que dio lugar a poder optimizar la configuración portuaria preliminar, además de la consideración de la experiencia constructiva local que también influyó en la definición de las tipologías de obra a implementar.

Como se pudo apreciar, cada etapa de diseño que recorre un proyecto, requiere la profundización de los estudios tanto de campo como de gabinete, de manera que cada aspecto que compone la obra, pueda ser diseñado con mayor certidumbre, especialmente en obras de gran envergadura, con costos de inversión muy altos.

En el caso específico del PAP, aún no se ha terminado la etapa de factibilidad, debido especialmente a la necesidad de ahondar en estudios de campo más precisos sobre mediciones de olas, caracterización detallada de los sedimentos costeros, estudios geotécnicos más completos para poder definir con precisión la fundación de las obras planteadas y el material que requiere ser dragado, entre otros. Aún se debe avanzar en diversos frentes, que incluyen aspectos técnicos, legales, ambientales y económicos, por lo que el presente proyecto básico podrá seguir moldeándose en las siguientes etapas, según los requerimientos y necesidades que puedan surgir a futuro.

7 REFERENCIAS

A continuación se listan los estudios antecedentes que fueron provistos por el MTOP para el desarrollo de la etapa de proyecto básico del PAP, así como también las recomendaciones para el proyecto de las obras.

MTOP, 2013. "Plan Maestro del Puerto de Aguas Profundas y Definición de la Configuración Portuaria. Etapa 2". Acciona Ingeniería para el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Uruguay.

Piedra-Cueva, Ismael (Sep'2013). Puerto Aguas Profundas, Informe Final: Estudios básicos marítimos.

Piedra-Cueva, Ismael (Dic'2013). Puerto Aguas Profundas, Informe Final: Estudio básico costero final

Normas ROM 3.1-99. *Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación.*

Harbour Approach Channels Design Guidelines, PIANC, Report 121- 2014

Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assesment Manual, 2007
CIRIA/CUR, 2007, The Rock Manual (C683)