



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de alternativas estructurales para el diseño de
muelle de carga y descarga del Puerto Pesquero
Internacional de Capurro, Montevideo (Uruguay)

Presentado por:

Marco Ramos, David

Para la obtención del:

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2017/2018

Fecha: Valencia, junio 2018

Tutor: Garrido Checa, Joaquín De María



ESTUDIO DE ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES PARA EL DISEÑO DE MUELLE DE CARGA Y DESCARGA DEL
PUERTO PESQUERO INTERNACIONAL DE CAPURRO, MONTEVIDEO (URUGUAY)





ESTUDIO DE ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES PARA EL DISEÑO DE MUELLE DE CARGA Y DESCARGA DEL
PUERTO PESQUERO INTERNACIONAL DE CAPURRO, MONTEVIDEO (URUGUAY)



Agradecimientos:

A mi tutor Joaquín por el interés, paciencia y ayuda durante todos estos meses y a mi familia por el cariño y apoyo.



RESUMEN:

El objetivo de este proyecto es llevar a cabo un estudio de alternativas, para el muelle de carga y descarga del nuevo módulo pesquero del puerto de Capurro, Montevideo (Uruguay).

Las alternativas elegidas en base a los conocimientos del alumno han sido: Muelle de pilotes, muelle de hormigón sumergido y muelle de recinto de tablestacas.

Paso previo al dimensionamiento, ha sido la determinación de las bases de cálculo en base a la ROM 0.0 y ROM 2.0 - 11.

Una vez establecidos todos los requisitos y factores se ha realizado el cálculo de las alternativas aplicando los criterios de verificación de los principales modos de fallo de acuerdo a la ROM 0.5 – 05. Gracias a los diseños obtenidos se ha podido valorar mediante un análisis multicriterio, atendiendo a criterios técnicos, de funcionalidad, coste y medioambiental, la solución idónea para este muelle.

En este caso, se opta por la solución del muelle de hormigón sumergido. Esta solución permite la realización del proyecto en un corto periodo de tiempo y mediante un proceso constructivo sencillo y poco especializado.

Como parte final del proyecto, se ha realizado una descripción gráfica detallada tanto de las alternativas como de la solución adoptada y una valoración económica de la solución.

Con todo esto se ha pretendido reflejar todos los conocimientos adquiridos por el alumno durante la realización del grado en Ingeniería Civil. Constituyendo una primera toma de contacto con el diseño, valoración y cálculo de estructura, en este caso, de carácter portuario.

Palabras clave: Pesquero, hormigón sumergido, muelle, pilotes, buques, puerto, viabilidad, Montevideo, estudio.



RESUM:

L'objectiu d'aquest projecte és dur a terme un estudi d'alternatives per a un moll de càrrega i descàrrega del nou mòdul pesquer al port de Capurro, Montevideo (Urugay).

Les alternatives escollides en base als coneixements de l'alumne han estat les següents: Moll de pilotes, moll de formigó submergit i moll de recinte de tablestaques.

El pas previ al dimensionament, ha estat la determinació de les bases dels càlculs a partir de la ROM 0.0 i la ROM 2.0 - 11.

Una vegada establerts tots els requisits i factors, s'han realitzat els càlculs de les alternatives aplicant els criteris de verificació dels principals modes d'errada d'acord a la ROM 0.5. Gràcies als dissenys obtinguts s'ha pogut valorar mitjançant un anàlisi multicriteri, atès a criteris tècnics de, funcionalitat, cost i medi ambiental, la solució idònia per aquest moll.

En aquest cas, s'opta per la solució del moll de formigó submergit. Aquesta solució permet la realització del projecte en un breu període de temps i mitjançant un procés constructiu senzill i poc especialitzat.

Com a última part del projecte, s'ha realitzat una descripció gràfica detallada tant de les alternatives com de la solució adoptada i una valoració econòmica de la solució.

Amb tot això s'ha volgut plasmar tots els coneixements adquirits per l'alumne durant la realització del grau en Enginyeria Civil. Construint una primera presa de contacte amb el disseny, valoració i càlcul d'estructura, en aquest cas, de caràcter portuari.

Paraules clau: pesquer, formigó submergit, moll, pilotes, vaixells, port, viabilitat, Montevideo, estudi.



ABSTRACT:

The aim of this project is to conduct a study regarding the alternatives for the loading and discharging quay of the new fishing module of the port of Capurro, Montevideo (Uruguay). Based on the student's knowledge, the following alternatives have been chosen: pile pier, submerged concrete pier and cofferdam.

Prior to sizing, the bases of calculation based on ROM 0.0 and ROM 2.0 – 11 have been determined. Once all the requirements and factors have been established, the alternatives have been calculated applying the verification criteria of the main failure modes according to ROM 0.5 - 05. Thanks to the obtained designs, it has been possible to evaluate the ideal solution for this pier. For this purpose, a multicriteria analysis according to technical, functional, cost and environmental criteria has been used.

In this study, the solution of the submerged concrete pier is chosen. This solution allows the realization of the project in a short period of time and through a simple and unspecialized construction process.

As a final part of the project, a detailed graphic description has been made of both the alternatives and the solution adopted, as well as an economic assessment of the solution.

This project has tried to reflect all the knowledge acquired by the student during the accomplishment of the degree in Civil Engineering, being this the first contact with the design, assessment and calculation of structure, in this case, of a port nature.

Key words: fishing, submerged concrete, quay, pile, vessels, harbour, viability, Montevideo, study



INDICE GENERAL DEL PROYECTO:

- DOCUMENTO N°1: Memoria General

ANEJOS A LA MEMORIA

- ANEJO N°1: Antecedentes
- ANEJO N°2: Bases de diseño
- ANEJO N°3: Geología y geotécnica
- ANEJO N°4: Cálculo de alternativas
- ANEJO N°5: Valoración de alternativas
- ANEJO N°6: Justificación de la solución adoptada

- DOCUMENTO N°2: Planos

0. Antecedentes:

- 0.1. PLANO N°1: Situación, localización y emplazamiento
- 0.2. PLANO N°2: Layout general
- 0.3. PLANO N°3: Layout muelle de carga y descarga

1. Campaña geotécnica:

- 1.1. PLANO N°4: Perfiles transversales
- 1.2. PLANO N°5: Perfil longitudinal

2. Cálculo de alternativas. Predimensionamiento:

- 2.1. PLANO N°6: Secciones tipo de las alternativas

3. Solución adoptada:

- 3.1. PLANO N°7: Sección tipo de la solución adoptada
- 3.2. PLANO N°8: Vista en Alzado
- 3.3. PLANO N°9: Vista en planta
- 3.4. PLANO N°10: Cimentación
- 3.5. PLANO N°11: Perfiles transversales

4. Proceso constructivo:

- 4.1. PLANO N°12: Secuencia de colocación de encofrados
- 4.2. PLANO N°13: Detalle de cimentación por tramos
- 4.3. PLANO N°14: Sistema constructivo

- DOCUMENTO N°3: Presupuesto



ESTUDIO DE ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES PARA EL DISEÑO DE MUELLE DE CARGA Y DESCARGA DEL
PUERTO PESQUERO INTERNACIONAL DE CAPURRO, MONTEVIDEO (URUGUAY)





DOCUMENTO Nº1: Memoria general

Presentado por:

Marco Ramos, David

Curso: 2017/2018

Fecha: Valencia, junio 2018

Tutor: Garrido Checa, Joaquín De María



INDICE DOCUMENTO Nº1: MEMORIA GENERAL:

| | | |
|----------|---|----|
| 1. | Introducción: | 13 |
| 2. | Objetivo y alcance del trabajo de fin de grado:..... | 13 |
| 3. | Antecedentes: | 14 |
| 3.1. | Enmarque del estudio de alternativas: | 14 |
| 3.2. | Modulo Internacional de la Terminal Pesquera de Capurro: | 14 |
| 4. | Descripción del estado actual de la zona de actuación:..... | 16 |
| 4.1. | Introducción: | 16 |
| 4.2. | Topografía y Batimetría..... | 16 |
| 4.2.1. | Canales de navegación: | 17 |
| 5. | Planteamiento del problema:..... | 17 |
| 6. | Planteamiento de las posibles soluciones:..... | 18 |
| 6.1. | Muelle de hormigon sumergido:..... | 18 |
| 6.2. | Muelle de pilotes:..... | 19 |
| 6.3. | Muelle de recinto de tablestacas: | 19 |
| 7. | Metodología:..... | 20 |
| 8. | Bases de diseño:..... | 21 |
| 8.1. | Características generales:..... | 21 |
| 8.2. | Requerimientos técnicos generales: | 21 |
| 8.3. | Requerimientos de diseño en alzado: | 22 |
| 8.4. | Acciones: | 22 |
| 8.4.1. | Oscilaciones marinas: | 22 |
| 8.4.2. | Viento: | 22 |
| 8.4.3. | Sobrecargas de uso y explotación: | 22 |
| 8.4.4. | Acciones náuticas: | 23 |
| 8.4.4.1. | Tiro de bolardo | 23 |
| 8.4.4.2. | Sistemas de defensa del muelle: | 23 |
| 8.4.5. | Acciones referidas al terreno para la alternativa de hormigon sumergido:..... | 23 |
| 9. | Geología y geotecnia:..... | 24 |
| 9.1. | Marco Geológico Regional: | 24 |
| 9.1.1. | Formacion Montevideo: | 24 |
| 9.1.2. | Formación Raigon (Plioceno):..... | 24 |
| 9.1.3. | Formación libertal (Pleistoceno Superior):..... | 24 |
| 9.1.4. | Formación Fray Bentos (Oligoceno): | 24 |
| 9.1.5. | Formación Villasoriano (Cuaternario – Holoceno): | 24 |
| 9.1.6. | Aportes Actuales: | 25 |
| 9.1.6.1. | Aluviones y Arenas costeras:..... | 25 |
| 9.1.6.2. | Depósitos lagunares y de albuferas:..... | 25 |
| 9.2. | Campaña geotécnica: | 25 |
| 9.2.1. | Trabajos de campo: | 26 |



| | | |
|---------|---|----|
| 9.2.2. | Ensayos de laboratorio: | 26 |
| 9.3. | Caracterización de los materiales..... | 26 |
| 9.3.1. | Arcillas de alta plasticidad (CH): | 27 |
| 9.3.2. | Arcillas de baja plasticidad (CL): | 27 |
| 9.3.3. | Limo arcilloso (MH): | 27 |
| 9.3.4. | Roca alterada. Gneis a biotita: | 28 |
| 9.4. | Análisis geotécnico: | 28 |
| 9.4.1. | Estratigrafía: | 28 |
| 9.4.2. | Perfiles de cálculo:..... | 28 |
| 9.4.3. | Dragados: | 28 |
| 10. | Cálculo de las alternativas: | 29 |
| 10.1. | Determinación de la viabilidad de las alternativas:..... | 29 |
| 10.2. | Metodología: | 29 |
| 10.2.1. | Introducción: | 29 |
| 10.2.2. | Secciones tipo:..... | 29 |
| 10.2.3. | Modos de fallo:..... | 31 |
| 10.2.4. | Estimación de los esfuerzos de cálculo y valores resistentes. Coeficientes de seguridad:..... | 31 |
| 10.2.5. | Otras comprobaciones: | 32 |
| 10.3. | Resultados obtenidos: | 33 |
| 10.3.1. | Alternativa 1: | 33 |
| 10.3.2. | Alternativa 2: | 34 |
| 11. | Valoración de las alternativas: | 34 |
| 11.1. | Evaluación multicriterio: | 34 |
| 11.1.1. | Viabilidad:..... | 34 |
| 11.1.2. | Criterio constructivo:..... | 36 |
| 11.1.3. | Criterio económico:..... | 36 |
| 11.1.4. | Criterio ambiental: | 37 |
| 11.2. | Resultados obtenidos:..... | 37 |
| 12. | Justificación de la solución adoptada: | 38 |
| 12.1. | Secciones tipo:..... | 38 |
| 12.2. | Bloque de hormigón sumergido: | 38 |
| 12.3. | Trasdós del bloque: | 39 |
| 12.4. | Firmes y pavimentos: | 39 |
| 12.5. | Proceso constructivo:..... | 40 |
| 13. | Presupuesto: | 41 |
| 14. | Conclusiones: | 41 |
| 15. | Bibliografía: | 41 |
| 16. | Anejos a este documento:..... | 42 |



Índice de ilustraciones:

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: Croquis de la nueva terminal del puerto de Capurro (Montevideo). (Ilustración obtenida del proyecto ejecutivo del módulo pesquero)..... | 15 |
| Ilustración 2: Localización | 16 |
| Ilustración 3: Plano Detalle Retroarea. (Ilustración obtenida del proyecto ejecutivo del módulo pesquero) | 17 |
| Ilustración 4: Detalle sección muelle de hormigón sumergido | 18 |
| Ilustración 5: Detalle sección muelle de pilotes | 19 |
| Ilustración 6: Detalle sección muelle recinto de tablestacas | 20 |
| Ilustración 7: Perfil Geológico | 25 |
| Ilustración 8: Croquis de Perforaciones | 26 |
| Ilustración 9: Perfiles Geotécnicos | 27 |
| Ilustración 10: Sección de cálculo de la alternativa 1..... | 30 |
| Ilustración 11: Sección de cálculo de la alternativa 2..... | 30 |
| Ilustración 12: Croquis de la alternativa 1 (En ningún caso se puede usar como plano constructivo) | 33 |
| Ilustración 13: Croquis de la alternativa 2 (En ningún caso se puede usar como plano constructivo) | 34 |
| Ilustración 14: Sección tipo firme zona de almacenamiento | 39 |
| Ilustración 15: Sección tipo firme zona operación | 39 |



1. Introducción:

Este proyecto se redacta con el fin de elaborar un estudio de alternativas al nuevo muelle de carga y descarga del “Módulo Internacional de la Terminal Pesquera de Capurro”. Como bien se indica, se busca ofrecer la mejor tipología estructural de muelle teniendo en cuenta diferentes factores y, en consecuencia, diseñar dicha estructura para cumplir con su función.

Este documento junto con sus correspondientes anejos, constituyen el documento N°1 del citado estudio de alternativas.

2. Objetivo y alcance del trabajo de fin de grado:

En el presente documento, incluyendo anejos del mismo y resto del documento que conforman el estudio, se desarrolla el Trabajo Final de Grado del alumno David Marco Ramos. En el cual se pretenden reflejar los conocimientos adquiridos a lo largo del grado gracias a las diferentes asignaturas impartidas. Este constituye una primera toma de contacto con el diseño, valoración y cálculo de una estructura, en este caso, de carácter portuario. Siempre teniendo en cuenta dimensiones y situaciones reales a todos los efectos.

Los contenidos que se plantean y desarrollan en el citado proyecto contemplan la ejecución de trabajos habituales de la Ingeniería Civil de diferentes ámbitos y tipologías.

Como se puede observar el alcance se puede distribuir en tres bloques:

- 1) Predimensionamiento y estudio de alternativas. Entre las alternativas a estudiar se contemplan: muelle de tablestacas, muelle de bloques y muelle sobre pilotes.
- 2) Dimensionamiento de la solución: Una vez seleccionada la mejor alternativa, atendiendo a criterios técnicos, de funcionalidad, coste, medioambiental, estéticos, etc.... se procederá al cálculo de la misma aplicando criterios de verificación de los principales modos de fallo de acuerdo a la ROM 0.0, ROM 2.0-11 y ROM 05-05.
- 3) Valoración económica de las principales unidades de obra de esta solución.

Es por tanto que el objetivo principal de este TFG es el de desarrollar la parte del Proyecto Constructivo de un proyecto referida al estudio de alternativas y valoración económica de la solución, junto con la descripción gráfica detallada de la misma.

Para alcanzar este objetivo principal, se establecen una serie de objetivos secundarios. Estos son:

- Analizar el estado actual y condicionantes principales del diseño
- Establecer los criterios de selección y valoración de la solución
- Aplicar las metodologías de cálculo adecuadas de acuerdo a la ROM y normativa vigente para el cálculo estructural.
- Identificar y medir las unidades de obra determinantes a nivel de estudio de soluciones
- Establecer los costes de las diferentes unidades de obra
- Confeccionar los planos necesarios con el detalle necesario para una correcta definición de la estructura y posibilidad de medición de las unidades de obra principales.



3. Antecedentes:

En este punto se busca mostrar el contexto en el que se realiza la obra. El objetivo principal es introducir al lector información básica para la mejor comprensión del estudio como: Localización, proyecto inicial, así como plantear el problema que el estudio busca solucionar e introducir en líneas generales las posibles soluciones. Todo esto indicando la metodología general que se usara en el estudio.

3.1. Enmarque del estudio de alternativas:

Este estudio de alternativas se encuadra en el proyecto general del nuevo módulo pesquero internacional del puerto de Capurro, Montevideo. También llamado: “Proyecto Ejecutivo del Módulo Internacional de la Terminal Pesquera Capurro”

El objetivo de este estudio es, en base al proyecto general, obtener una solución estructural para el muelle de la zona de carga y descarga. Por lo que, el estudio se centrara solo en la retroarea o zona de carga y descarga.

En consecuencia, se dispone de gran cantidad de datos en base a los estudios realizados en el proyecto general. Tales como estudio del oleaje, batimetría, campañas geotécnicas, etc...

En los siguientes puntos se realizará una breve descripción del proyecto general y los detalles más importantes.

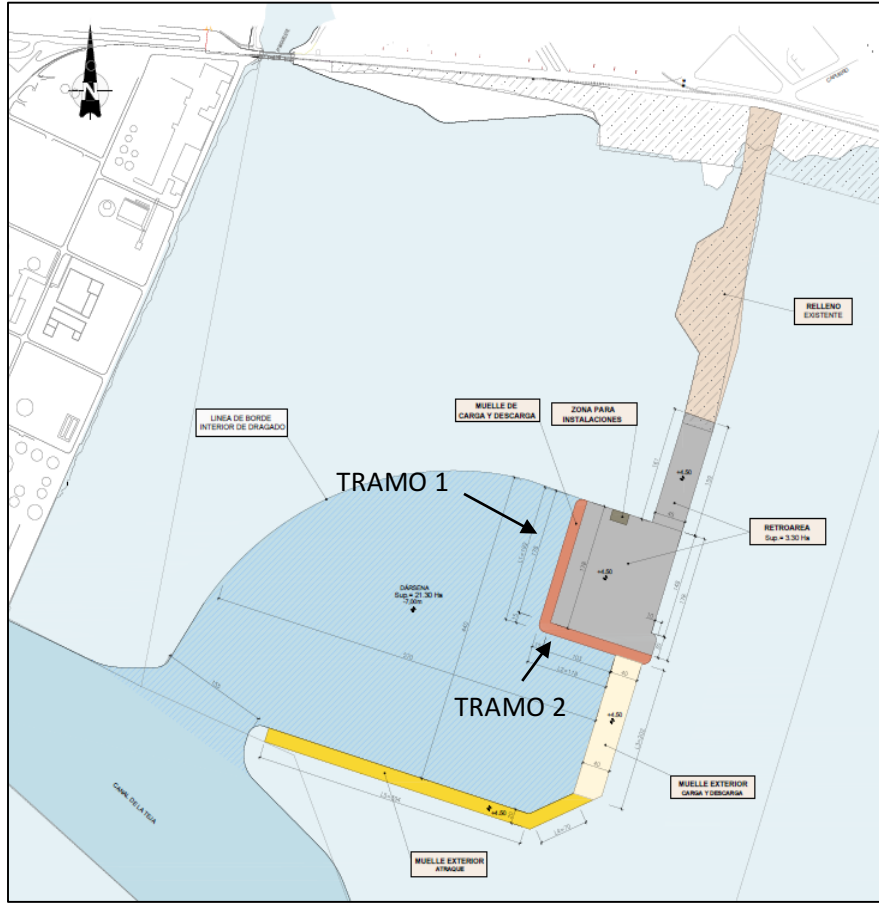
En adelante, proyecto general y proyecto.

3.2. Modulo Internacional de la Terminal Pesquera de Capurro:

El proyecto general fue una iniciativa promovida en 2014 por la Administración Nacional de Puertos (ANP) de la Republica Oriental de Uruguay con el objetivo de impulsar el sector pesquero del puerto. La iniciativa consiste en la creación de un puerto pesquero de carácter internacional, es decir, para grandes barcos pesqueros industriales de 2500 Tn de registro y esloras de 90 m con la idea de que sea el primer puerto pesquero de Mercosur.

El proyecto inicial, tal como se ve en la siguiente ilustración, dispone de 2 alineaciones principales. La primera de ellas parte en dirección sur durante 666 metros en forma de muelle exterior, donde toda su totalidad está dispuesta como línea cantil de amarre (Tipología pantalán sobre pilotes). En esta alineación se sitúa la retroarea o muelle de carga y descarga, lugar del estudio. Que con una superficie de 3,3 Ha anexa al muelle, permitirá el atraque simultaneo de 2 buques de 90m de eslora gracias a su muelle de 310m de longitud. Este se divide en tramo 1 (192 m) y tramo 2 (118 m).

La segunda alineación comienza con un quiebro de 90º en dirección oeste (300m) y culmina en el morro del dique que da paso a la bocana de entrada al módulo. Esta configuración permitirá el amarre simultaneo de 50 barcos entre 40 y 90 m de eslora.



*Ilustración 1: Croquis de la nueva terminal del puerto de Capurro (Montevideo).
(Ilustración obtenida del proyecto ejecutivo del módulo pesquero)*

A fecha de hoy solo se ha realizado el apartado 1 de la etapa 1, es decir, solo se ha realizado el proceso constructivo y está pendiente de aprobación por la ANP.



4. Descripción del estado actual de la zona de actuación:

4.1. Introducción:

El puerto de Capurro, Montevideo se sitúa al sur de la ciudad de Montevideo y es el mayor puerto comercial de Uruguay. El puerto se sitúa en una zona económicamente deprimida y con un gran desorden urbanístico que combina áreas industriales con residenciales. Está dividido en varios sectores, unidos entre ellos por grandes canales de navegación, debido al poco calado de la bahía. La zona de estudio se localiza en la parte más interior de la bahía, al este de la refinería La Teja y en la desembocadura del Arroyo Miguelete.



Ilustración 2: Localización

Tal y como se puede ver en la ilustración, existe un relleno ya ejecutado como parte del futuro acceso a la nueva dársena. Este relleno, partiendo desde la costa, se adentro mar adentro en dirección a la retroarea. Se encuentra coronado a la cota +4.50 metros y presenta un ancho de unos 50 metros.

4.2. Topografía y Batimetría

Toda la zona dispone de una topografía en costa muy suave y uniforme, al igual que la batimetría, presentado profundidades no superiores a los -2.00 metros. En consecuencia, las profundidades naturales en promedio no superan la cota -1.5 metros.



4.2.1. Canales de navegación:

Esta situación ha hecho necesario la construcción de grandes y costosos canales de navegación que permitan la navegación de grandes buques a las terminales del puerto. Esto nos indica que, toda la superficie abrigada que este nuevo módulo genere, deberá ser dragada en su totalidad para alcanzar calados funcionales.

También es importante mencionar, que el canal de acceso a esta nueva dársena está garantizado gracias al canal de navegación La Teja, discurre por la bocana, por lo que no será necesario la creación de un nuevo canal, además este posee un gran calado ya que discurren grandes buques hacia la refinería, contigua al nuevo módulo.

5. Planteamiento del problema:

Como se ha mencionado en los puntos anteriores, el estudio se centra en el muelle de carga y descarga de la retroarea. Esta explanada rectangular se sitúa entre el acceso terrestre y el muelle exterior y permitirá el almacenamiento y gestión de mercancías de cara a su carga en camiones o a su almacenamiento y conservación en instalaciones frigoríficas.

El muelle de este área deberá ser capaz de soportar los grandes empujes horizontales de los barcos pesqueros además de las cargas verticales típicas de una zona de acopios y tránsito mercantil.

Como veremos en los próximos puntos, la estratigrafía de la zona de la retroarea es bastante simple pero poco usual. Consta de un pequeño estrato de material poco competente y a muy poca profundidad aparece una roca sana, lo que permitirá usar técnicas de cimentación en roca.

Por tanto, nos encontramos con un gran muelle que debe soportar grandes empujes y cargas pero poca agitación y que debe estar cimentado principalmente en roca. Además, el cliente (ANP) desea una solución al problema de sencilla y rápida construcción. Dados todos estos datos se presenta el problema de dimensionar un muelle funcional para un uso pesquero.

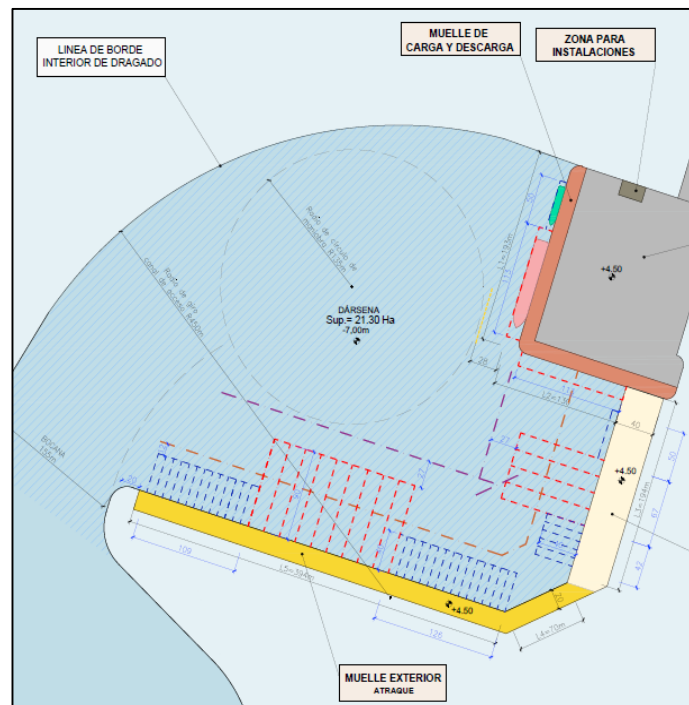


Ilustración 3: Plano Detalle Retroarea. (Ilustración obtenida del proyecto ejecutivo del módulo pesquero)



6. Planteamiento de las posibles soluciones:

Este tipo de problemas se ha presentado en un gran número de puertos, es por ello que se plantearan alternativas ya usadas con gran éxito en otros lugares. Como bien se detalla en el ROM 2.0 – 11, la mejor tipología para un puerto de uso pesquero es aquella que satisfaga las necesidades de descarga del pescado fresco y su transferencia a la lonja o a los modos de transporte terrestre. Es por ello que se recomienda un solución de tipo continuo, ya que se aprovecha al máximo el espacio y permite una mayor proximidad de la lonja al punto de descarga.

Por tanto, basandonos en dicha recomendación se presentan tres alternativas, una de tipo obra fija cerrada, muelle de hormigón sumergido y otras de tipo fija abierta como el muelle de pilotes y la tipología de recinto de tablestacas, en adelante alternativas 1, 2 y 3:

6.1. Muelle de hormigón sumergido:

Es muy importante mencionar que, aunque en el alcance del TFG se mencionó que una alternativa sería el muelle de bloques se ha decidido, al establecer datos más concretos del TFG, que la alternativa más adecuada es la del muelle de hormigón sumergido. Como se verá es una tipología muy similar, ya que en vez de un conjunto de tres bloques es únicamente un gran bloque que se analiza de la misma manera. Esta decisión se ha tomado en base a criterios constructivos y técnicos de la zona.

El problema principal residía en la ausencia de zona de almacenamiento, con suficiente capacidad portante para la gran cantidad de bloques necesarios. Esto se debe a que el muelle se sitúa en una zona bastante alejada de la costa y, sobretodo, a que el terreno próximo a este muelle se generará al mismo tiempo que el muelle, por lo que no estará consolidado. En consecuencia, se ha decidido optar por el hormigón sumergido, al ser in situ.

En adelante la alternativa 1, será la de muelle de hormigón sumergido.

A continuación, se procede a la descripción general de dicha tipología:

La construcción de este tipo de muelles se lleva a cabo bajo el agua, casi en su totalidad, con procedimientos de hormigón sumergido, es decir, bombeando un hormigón rico en cemento con el extremo del tubo embutido en la masa de la zona a hormigonar para que, al expandirse, se evite al máximo el lavado del cemento y el árido fino.

inicialmente, este sistema se aplicó a muelles de pequeña altura asentados sobre terreno resistente, pero en la actualidad se utiliza también en terrenos de baja capacidad portante, sobre banquetas de escollera. Este tipo de muelles está indicado donde no exista espacio para la prefabricación de bloques o medios para su colocación.

El hormigonado puede realizarse por tongadas horizontales de 1,50 m de altura mínima, o en sección completa. En el primer caso, el encofrado se limita a las caras laterales de las diferentes tongadas, apoyados en la base o en la tongada inmediatamente anterior, siendo frecuente también utilizar bloques de hormigón como encofrado perdido. Estos bloques tienen entrantes para que

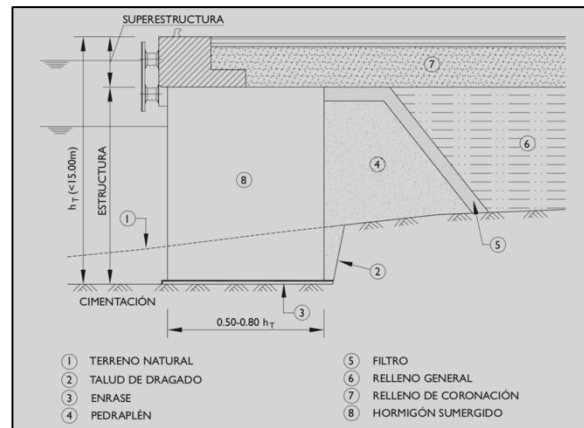


Ilustración 4: Detalle sección muelle de hormigón sumergido



penetren por ellos el hormigón y lograr así una mejor unión con el macizo hormigonado in situ. Las juntas horizontales se hacen con llaves para evitar el deslizamiento entre tongadas. Cuando se hormigona en sección completa, por módulos, el encofrado tiene forma de U en planta, acoplando cada puesta en el módulo anterior, dejando una llave vertical.

6.2. Muelle de pilotes:

La estructura resistente está formada por una plataforma sustentada en pilotes verticales y/o inclinados y, en el caso de que exista un relleno adosado, puede complementarse con una estructura de contención de tierras y de unión con la plataforma en la coronación del talud. También pueden disponerse anclajes en la plataforma con el objeto de mejorar la capacidad resistente de la obra ante cargas horizontales.

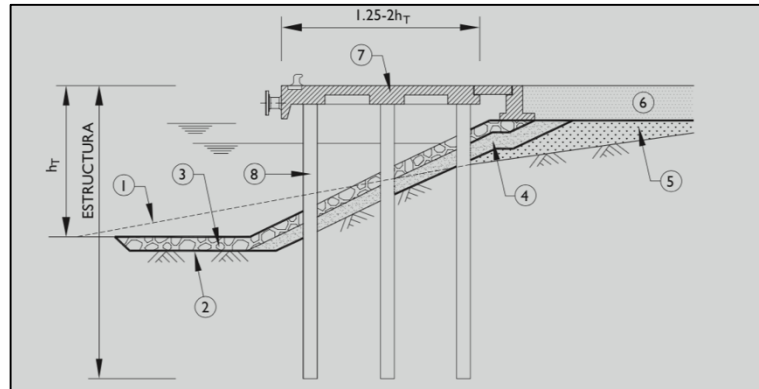


Ilustración 5: Detalle sección muelle de pilotes

La estructura transmite al terreno de cimentación todas las acciones de uso y explotación actuantes sobre el tablero por medio de los pilotes. Cuando todos los pilotes son verticales, están solicitados por esfuerzos axiales, cortantes y de flexión. En caso de disponer pilotes inclinados o verticales e inclinados, estarán solicitados fundamentalmente por axiales. Los pilotes deben empotrarse en el terreno resistente la longitud necesaria para que la transmisión de cargas pilote-terreno reúna las debidas condiciones de seguridad.

Los pilotes pueden ser de hormigón moldeado "in situ" o prefabricados hincados: módulos de pantalla, perfiles metálicos (tubulares o de perfil en H), de hormigón pretensado o mixtos (tubos rellenos de hormigón). Pueden alcanzar profundidades elevadas de hasta 50 m. Las dimensiones en planta, y por tanto la capacidad estructural de los pilotes debe estar en consonancia con la resistencia del terreno y con la profundidad alcanzada. En pilotes hormigonados "in situ" son usuales diámetros entre 0.6 y 2 m. La malla de su disposición en planta suele ser rectangular. La distancia entre pilotes depende de la magnitud y canalización de las cargas de explotación que actúan sobre el tablero, buscando una solución de equilibrio entre capacidad portante del tablero y de los pilotes. No suelen ser usuales separaciones entre ejes de pilotes mayores de 8 m. La longitud de los mismos depende del tipo de terreno, hasta alcanzar el nivel de profundidad que permita por punta y/o fuste resistir las acciones verticales transmitidas y, en su caso, movilizar las reacciones horizontales necesarias para resistir parte o la totalidad de las acciones horizontales.

La plataforma es normalmente de hormigón armado, pudiendo estar constituida por partes prefabricadas y por partes hormigonadas "in situ".

6.3. Muelle de recinto de tablestacas:

La estructura resistente está formada por una fila de recintos formados por tablestacas metálicas, conectados entre sí, los cuales se pueden construir con varias configuraciones geométricas:



- Recintos conformas circulares, creando celdas independientes que después se unen en la parte delantera (y eventualmente, en la trasera) mediante arcos circulares construidos con tablestacas planas.
- Celdas con diafragmas, de paredes transversales rectas y frontales curvas.
- Dos filas de tablestacas paralelas, arriostradas entre sí a distintos niveles y con uno ó varios recintos especialmente arriostrados que rigidicen la estructura.
- Otras variantes: trébol de cuatro hojas atirantadas según dos ejes, formas elípticas, formas de curvatura variable ...

Dichos recintos se rellenan posteriormente de material granular.

La capacidad resistente de la estructura es aportada fundamentalmente por el relleno interno y por la propia interacción de los recintos de tablestacas con el relleno y con el terreno natural.

En general los recintos con formas circulares son los más utilizados. La ventaja de esta tipología estructural respecto a las otras con tablestacas radica en que las celdas son autoestables individualmente y se pueden hacer los rellenos de las celdas de manera independiente. Por ello están indicados en terrenos rocosos. Con los recintos de diafragmas han de hacerse los rellenos de manera simultánea con un cierto desfase admisible y ha de utilizarse un mayor número de tablestacas. Su posible ventaja estriba en menores esfuerzos en la tablestaca. Las otras variantes suelen utilizarse para grandes profundidades.

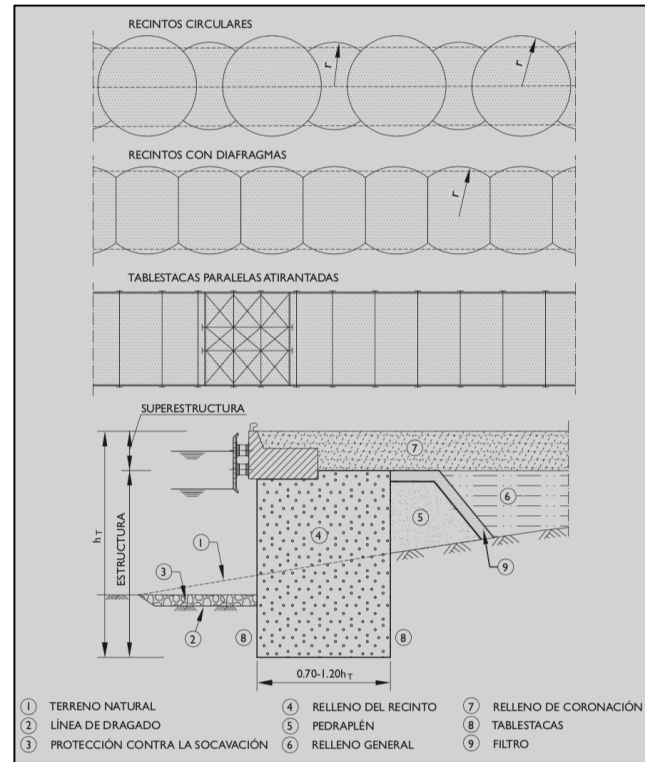


Ilustración 6: Detalle sección muelle recinto de tablestacas

7. Metodología:

Una vez determinado el problema y las posibles soluciones, en este caso, alternativas. Se procederá al estudio de estas para elegir la mejor solución.

Para ello, será necesario recabar cierta información con el fin de facilitar el estudio. Como primer paso se procederá a la determinación de las bases de diseño del proyecto. En esta parte se detallarán partes esenciales para el diseño del muelle como: Cotas de fondo y coronación, requisitos especiales, materiales, elementos portuarios y, sobretodo, se determinarán las acciones y solicitaciones sobre el muelle.

Una vez determinados todos estos elementos, es el momento de analizar la geología y geotécnica de la zona de estudio. Gracias a una campaña geotécnica realizada en la bahía se ha podido extraer la estratigrafía del terreno y las características de los materiales. Con todo ello se realizarán los perfiles tanto transversales como longitudinal del muelle. Se determinará el perfil transversal de cálculo. Este perfil es de gran importancia ya que en base a él se realizarán todos los cálculos pertinentes.



Cuando todos los elementos previos se encuentran acotados, es momento de realizar un predimensionamiento de todas las alternativas, gracias a ello, se podrá decidir con mayor facilidad la solución adoptada.

El procedimiento para el dimensionamiento se basará en la iteración, es decir, se irán determinando secciones y se ira comprobando su viabilidad mediante los modos de fallo presentados por la ROM. Una vez se determine las geometrías, se plasmarán en un plano.

Cuando las alternativas estén diseñadas, será momento de valorar cuál de ellas es la óptima para el puerto pesquero. Para ello se realizará una valoración en función de varios criterios como: Viabilidad, economía, medio ambiente, proceso constructivo, etc... Con la valoración de estos criterios se determinará una puntuación para alternativa y se elegirá la que mayor puntuación consiga.

El último punto es realizar un estudio detallado de la solución adoptada, es decir, determinar el firme, detallar los requisitos de los materiales, detalles constructivos, proceso constructivo, etc...

Para finalizar este proyecto se plasmará toda la información en representaciones graficas que sigan todo el proceso realizado y se generará una valoración económica de la solución adoptada en función de las unidades de obra previamente detalladas.

8. Bases de diseño:

En el siguiente punto se muestran todos los parámetros y variables involucrados en el diseño de las alternativas. Toda esta información se muestra de forma más extendida en el anejo de bases de diseño.

8.1. Características generales:

El muelle consta de 2 tramos, el primer y principal (Tramo 1) de 192 m y el tramo 2 de 118 m. Se usará para labores de carga y descarga, ya que en la retroarea, se situará una gran zona de almacenamiento y la lonja. Además, se establece un área de operación de 15 metros desde la línea de atraque.

Dicho muelle será utilizado por un máximo de 50 buques proporcionándoles todos los servicios necesarios. Los barcos tipo que amarrarán en el puerto serán:

- Buque máximo: Pesquero de altura y gran altura:

Pesquero industrial de 2.500 Toneladas de Registro Bruto, eslora 90 metros, manga 14 metros, puntal 6,8 metros y calado máximo de 5.9 metros.

- Buque mínimo: Pesquero de altura y gran altura:

Pesquero fresquero de 200 Toneladas de Registro Bruto, eslora 40 metros, manga 7 metros, puntal 4,0 metros y calado máximo de 3.5 metros.

8.2. Requerimientos técnicos generales:

El cliente, en este caso la autoridad portuaria de Montevideo, por motivos meramente económicos no permite el dragado de la roca del lecho marino, solo el material granular. Este criterio del cliente afectara de gran manera a las características del muelle.



8.3. Requerimientos de diseño en alzado:

- Cota de fondo: -7.00 metros
- Nivel de coronación del muelle: +4.50 metros

8.4. Acciones:

8.4.1. Oscilaciones marinas:

- Marea:
 - PVME: +1,21 m
 - BVME: +0,61 m

Como se especifica en el anejo, el nivel mínimo de bajamar se establece en +0,00 metros. Por lo que la cota máxima de la lámina de agua será de +0,60 m.

- Oleaje Exterior: No se tiene en cuenta, $H_s < 1$ metro
- Agitación interior: No se tiene en cuenta
- Corrientes: Se establece $V_c = 1.5$ m/s.
- Socavación del fondo por efecto de la hélice del barco: No es necesario aplicar protección especial, ya que el fondo es de roca.

8.4.2. Viento:

No se tendrá en cuenta como acción, pero si se considera en el cálculo de esfuerzos como el tiro de bolardo o los esfuerzos horizontales transmitidos por la grúa móvil.

La ROM especifica varias situaciones de operabilidad:

- Condiciones operativas CT1: Según la tabla de la ROM se establece una velocidad de $v_1 = 22$ m/s tanta en longitudinal como en transversal.
- Condiciones extremas CT2: Si el viento supera este umbral se debe cerrar del muelle por falta de seguridad en las operaciones. Para un periodo de retorno de 50 años se establece $v_2 = 45$ m/s, siendo este viento predominante del SE.

8.4.3. Sobrecargas de uso y explotación:

- Sobrecarga de explotación (SC1) = 15 kN/m^2
- Sobrecarga por equipo de manipulación de mercancías (SC2)
 - Carga vertical: 550 kN por calzo (4)
 - Carga horizontal: 27,5 kN por calzo (4)
- Trafico terrestre (SC3): Camión de 450 kN repartidos en 3 ejes



8.4.4. Acciones náuticas:

8.4.4.1. Tiro de bolardo

Se disponen bolardo de 50 Tn cada 8 metros. Y se suponen 2 supuestos:

- El tiro se produce completamente horizontal. $V_{\text{tiro},1} = 61,25$ kN/m
- El tiro se produce en un ángulo de 45° con la horizontal $V_{\text{tiro},2,x} = V_{\text{tiro},2,y} = 43,33$ kN/m



8.4.4.2. Sistemas de defensa del muelle:

Se dispondrá una defensa principal cada 8 metros del tipo V – 400 (Calidad C y 2,5 metros de ancho) que generará una reacción de $V_{\text{def}} = 92,84$ kN/m. También con el fin de favorecer el atraque de los buques de la flota nacional, se dispondrán entre las V – 400 2 defensas C 150 – 75 de un metro de ancho y 0,15 de alto, calidad A.

En resumen, el impacto del buque está estimado en unas 76 Tn.



8.4.5. Acciones referidas al terreno para la alternativa de hormigón sumergido:

Para el diseño de la alternativa 1, se tendrán en cuenta 3 fenómenos referidos al terreno:

- Empuje activo en el trasdós: Fórmula con la teoría de Rankine y teniendo en cuenta una inclinación de esta fuerza de $1/3$ del ángulo de rozamiento
- Carga hidráulica: Efecto generado por las lentas variaciones del NF en el trasdós debido a la carrera de marea.
- Subpresiones: Se generan en la parte inferior de bloque de hormigón y tienen en cuenta la columna de agua a ambos lados de la estructura.



9. Geología y geotecnia:

Con los datos obtenidos de la campaña geotécnica realizada entre diciembre de 2016 y enero de 2017 se ha realizado el anejo de geología y geotecnia. En esta memoria se resumen los puntos más importantes de dicho anejo.

9.1. Marco Geológico Regional:

A continuación, como parte esencial del estudio, se detalla una pequeña explicación de la geología del área metropolitana de Montevideo. Esta información permitirá interpretar con mayor facilidad todos los datos geotécnicos.

Puerto Capurro se sitúa sobre materiales de edad proterozoica a cuaternaria. El basamento de edad proterozoica está constituido por rocas cristalinas, pertenecientes al denominado Zócalo del Río de la Plata, sobre las que se depositan materiales de origen sedimentario de edad Cenozoica.

9.1.1. Formación Montevideo:

La formación incluye entre otros parafibrolitas, micaesquistos y para-gneisses a veces grafitosos. Aunque lo más predominante son los gneisses constituyen en la zona de estudio la litología más abundante y extendida de las pertenecientes a la formación Montevideo.

Todos los compuestos anteriormente mencionados se encuentran explicados con más detalle en el anejo.

9.1.2. Formación Raigon (Plioceno):

Areniscas muy finas y loess, con contenidos variables de arena fina, localmente fuertemente arcillosos, de estructura masiva, color naranja.

9.1.3. Formación libertal (Pleistoceno Superior):

Lodolitas heterolíticas, loess y fangolitas de color pardo a pardo rojizo con porcentaje variable de arenas y arcillas.

9.1.4. Formación Fray Bentos (Oligoceno):

Areniscas muy finas y loess, con contenidos variables de arena fina, localmente fuertemente arcillosos, de estructura masiva, color naranja.

9.1.5. Formación Villasoriano (Cuaternario – Holoceno):

Formación asociada a las planicies fluviales bajas que conectan con la faja costera. Se trata de arenas gruesas, medias y finas de color blando, que hacia techo pasan a tonalidades grises verdosas por el aumento de materia orgánica.



9.1.6. Aportes Actuales:

9.1.6.1. Aluviones y Arenas costeras:

Las arenas costeras están desarrollándose sobre la costa y playas del Río de la Plata. Están constituidas por arenas medias a finas redondeadas cuarzosas con estratificación cruzada de color blanco. Son materiales fácilmente desagregables con un alto coeficiente de infiltración mayor a los 50 mm/hora.

9.1.6.2. Depósitos lagunares y de albuferas:

Estos depósitos se localizan en arenas costeras detrás de barras arenosas, hacia el continente. Están conformados por sedimentos arcillosos, arcillo limosos y turba.

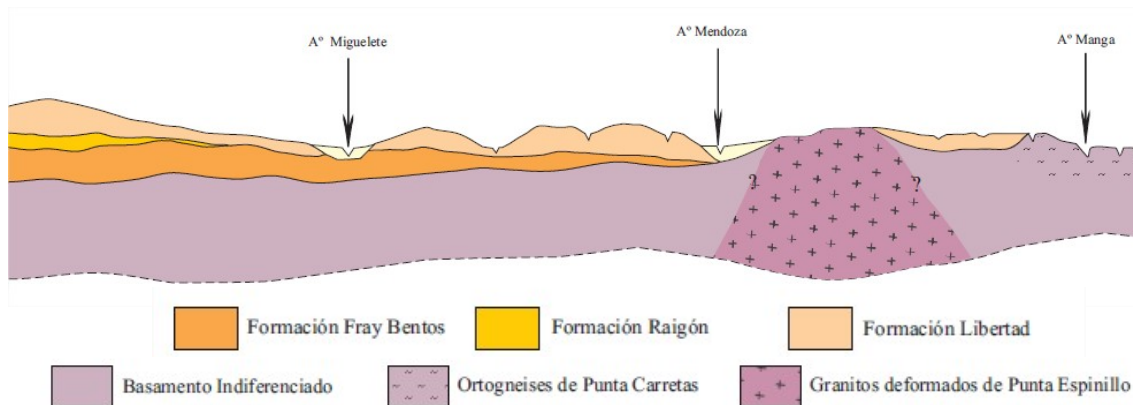


Ilustración 7: Perfil Geológico

9.2. Campaña geotécnica:

Durante la redacción del proyecto general se determinó que la información disponible no aportaba los suficientes datos para caracterizar el terreno con precisión. Es por ello que se decidió realizar una nueva campaña geotécnica con el fin de conocer la posición exacta de la roca y su alteración y, de ese modo, establecer mejores características sobre los suelos blandos.

Para conocer todos estos datos se realizaron un total de 32 sondeos lo largo de todo el puerto. En el caso de la retroarea, solo se estudiarán en profundidad los más próximos a esta.

9.2.1. Trabajos de campo:

- Ensayos penetración: Terzaghi y Moretto
- Muestras inalteradas del suelo arcilloso: Toma muestras Shelby
- Ensayos SPT
- Perforación en rosca con equipo rotativo con saca testigos de doble pared y corona de diamantes NWG

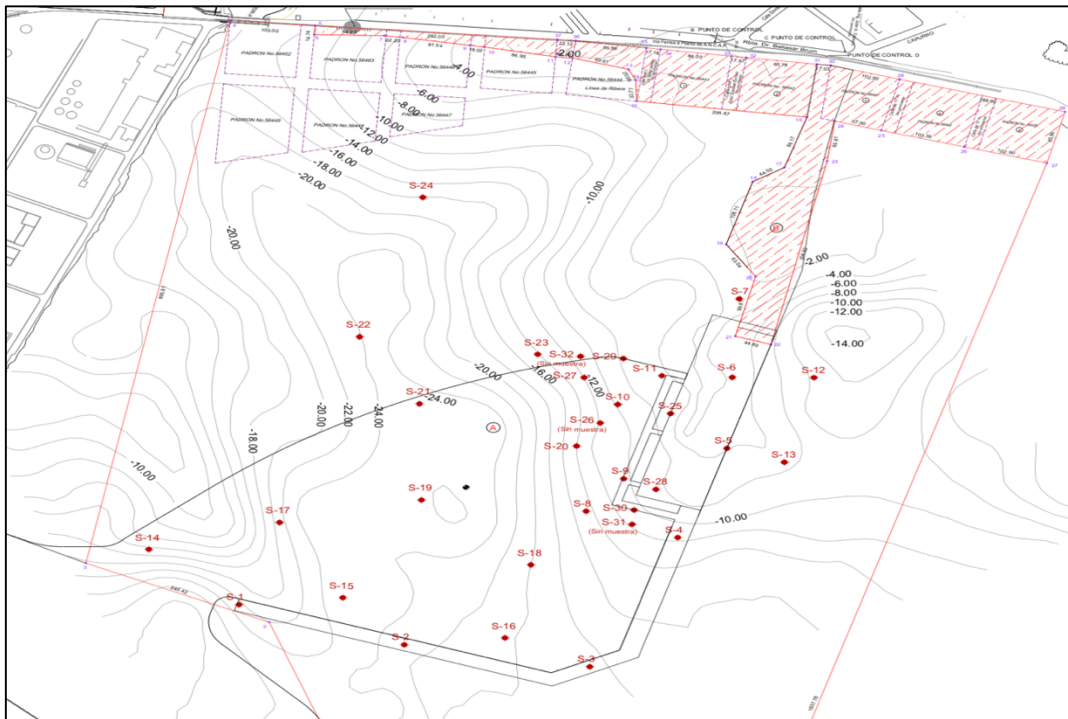


Ilustración 8: Croquis de Perforaciones

9.2.2. Ensayos de laboratorio:

- Muestras de suelo: Limite líquido, limite plástico y granulometría
- Muestras de ensayo SPT: Humedad, peso unitario húmedo y seco
- Muestras tubo Shelby: Ensayos triaxiales consolidación no drenados y ensayos compresión simple
- Muestras de rocas: Análisis visual, ensayo carga puntual y compresión simple

9.3. Caracterización de los materiales

En el siguiente apartado se busca caracterizar geotécnicamente los materiales del área del proyecto. Para ello, basándose en los sondeos realizados en la retroarea, se divide el apartado en las unidades geotécnicas halladas con el fin de mejorar la compresión.

Antes de mostrar las características de cada material, es necesario conocer la posición de cada estrato. Para ello se muestra en la siguiente ilustración las columnas estratigráficas extraídas de los sondeos S5 y S6.



También se ha decidido introducir la columna del sondeo S7, al norte de la retroarea, ya que en esta zona la roca se acerca aún más a la superficie y aparece una arcilla de baja plasticidad (CL). Este sondeo nos indica que la roca está más próxima a la superficie según nos acercamos al norte de la retroarea.

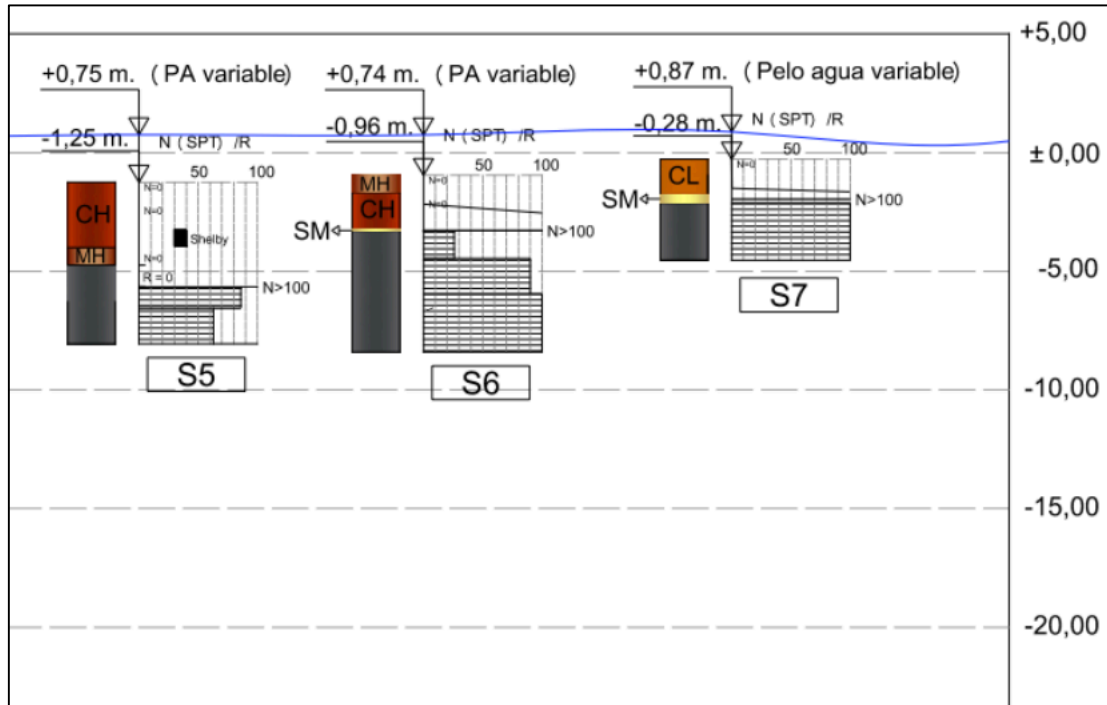


Ilustración 9: Perfiles Geotécnicos

9.3.1. Arcillas de alta plasticidad (CH):

Es una arcilla de muy alta plasticidad de color gris oscuro y consistencia muy blanda. Por lo general se sitúa en el lecho marino, es decir a 1 metros de profundidad. Tiene una potencia máxima de 4 metros y en las actas se insiste mucho en el alto grado de contaminación por combustibles. Este material se detectó en la totalidad de la retroarea por lo que deberá ser dragado en su totalidad.

9.3.2. Arcillas de baja plasticidad (CL):

Arcillas de color gris verdoso y de baja plasticidad. Poseen una consistencia muy blanda y están altamente contaminadas. No han sido encontradas en muchos sondeos, pero se suelen encontrar en las capas más próximas a la superficie.

9.3.3. Limo arcilloso (MH):

Limo arcilloso de alta plasticidad de color gris con consistencia muy blanda. Aparecen en estratos de poca potencia y muy próximo a la superficie. Tienen una resistencia y características muy similares a las arcillas CH.



9.3.4. Roca alterada. Gneis a biotita:

Es el material más importante ya que la estructura se apoyará en este. Posee un color claro y se pueden apreciar gran cantidad de fracturas sin relleno indicando el geólogo una alteración de grado IV.

En la parte norte de la retroarea la roca se situada en la cota -1.5m y según avanza hacia el sur va descendiendo, llegando a la cota -3.5m en la parte central y finalizando al sur en la cota -6.00 metros. Al ser una roca tan alterada su RCS es de 39 Mpa y se considera un RQD = 10%.

9.4. Análisis geotécnico:

9.4.1. Estratigrafía:

- Unidad geotécnica 1: Material arcilloso:

Este material arcilloso de color gris verdoso aflora a un máximo de 3 metros de la superficie. Posee un alta plasticidad y baja capacidad portante. Además, está contaminado por combustibles. Según los datos que se tienen, este material se puede considerar prácticamente un fluido con nulas aptitudes estructurales.

- Unidad geotécnica 2: Lecho de roca

Llama la atención la poca profundidad a la que se encuentra el lecho de roca, rondando los 3 - 6 metros de profundidad. En este caso, el lecho de roca consta de un gneiss a biotita con una resistencia a compresión simple muy baja. Además, posee un grado de alteración IV que, con los datos obtenidos, se mantiene con características similares hasta profundidades fuera del alcance de este proyecto.

En definitiva, nos encontramos con un terreno de baja capacidad portante donde será necesario dragar el material arcilloso para realizar cualquier cimentación de estructuras.

9.4.2. Perfiles de cálculo:

Para realizar el dimensionamiento de las alternativas es necesario determinar los perfiles transversales y el perfil longitudinal del cantil del muelle

Estos perfiles se pueden comprobar en el anejo 3 de este documento. En cuanto los perfiles transversales, se han elegido los más representativos, entre ellos, el PK 217+000, la sección más desfavorable y, por tanto, la que se usará para los cálculos. Esta sección es aquella donde el lecho de roca se encuentra a mayor profundidad y, en consecuencia, donde los esfuerzos serán mayores.

9.4.3. Dragados:

Se recomienda el uso de draga de bajo calado, como la draga de cangilones o rosario o la draga de cuchara.

En cuanto a los taludes de dragado, se debe dejar el talud natural de la roca y en caso de que, en determinadas zonas, como en el interior de la dársena, no sea necesario el dragado de todo el



material arcilloso, se debe dejar un talud de mínimo 1V : 5H. Es un valor muy conservador pero las características del terreno no permiten mayores inclinaciones.

Además, también se recomienda que dicho material arcilloso no se use en ningún tipo de relleno y sea tratado con sumo cuidado ya que con gran certeza está contaminado por combustible y materiales pesados por lo que sería conveniente su tratamiento en una planta especializada.

10.Cálculo de las alternativas:

10.1. Determinación de la viabilidad de las alternativas:

Paso previo al dimensionamiento de las alternativas es determinar si alguna de estas no es viable en el encuadre de este módulo pesquero, ya sea por razones de funcionalidad marítima, geotecnia u otros aspectos.

Aunque en un principio las 3 tipologías son viables, se ha visto como la alternativa de recinto de tablestacas tiene una limitación de pendiente del terreno del 10%, que la zona de la retroarea no cumple. Obviamente esto no es un problema técnico ya que se puede dragar, además de la dársena, toda la superficie donde se apoyará el recinto. Pero este proceso no está permitido por la autoridad portuaria, tanto por razones económicas como sociales.

Tal y como se puede ver en los perfiles existen pendientes superiores al 10%, incluso del 20%. Por tanto, se decide que la alternativa 3 no puede llevarse a cabo por motivos constructivos. De aquí en adelante se tendrán en cuenta como posibles soluciones la alternativa de muelle de hormigón sumergido y muelle de pilotes.

10.2. Metodología:

10.2.1. Introducción:

El cálculo de las alternativas se ha realizado mediante la iteración, es decir, se han introducido posibles valores de la geometría en las fórmulas y se ha obtenido un coeficiente de seguridad. Se han probado valores hasta obtener los coeficientes indicados en la ROM para cada modo de fallo.

10.2.2. Secciones tipo:

Se han determinado unas secciones tipo en función de lo indicado en la ROM y en base al perfil de diseño PK 217+000. A continuación, se muestran los puntos más importantes:

- Alternativa 1:
 - Tipología idónea para cimentación en roca
 - Lecho prácticamente horizontal
 - Solo se necesita una banqueta de nivelación de HL de un máximo de 30 cm
 - Francobordo del bloque de hormigón sumergido -> 90 cm
 - Superestructura: Viga cantil + relleno granular -> Canto = 3,6 metros
 - Material del relleno de trasdós -> Pedraplen



- Alternativa 2:
 - Superestructura: Plataforma de 1,5 metros de canto y 15 metros de largo
 - Se supone terreno en cota -7.00 metros y sin tener en cuenta el talud.

Dichas secciones de cálculo simplificadas se pueden observar en las siguientes ilustraciones:

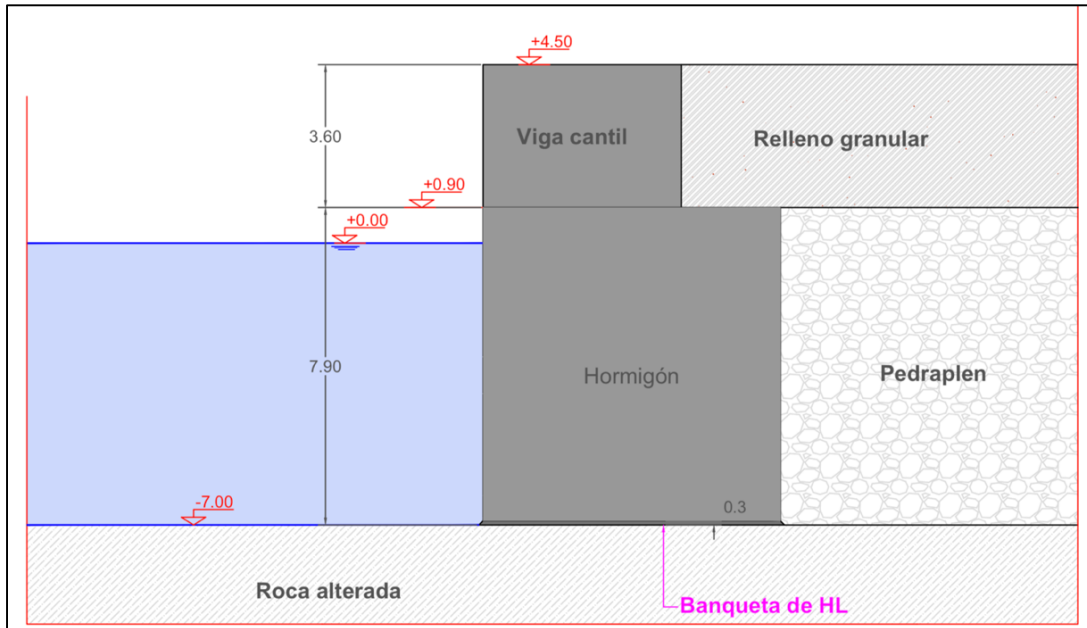


Ilustración 10: Sección de cálculo de la alternativa 1

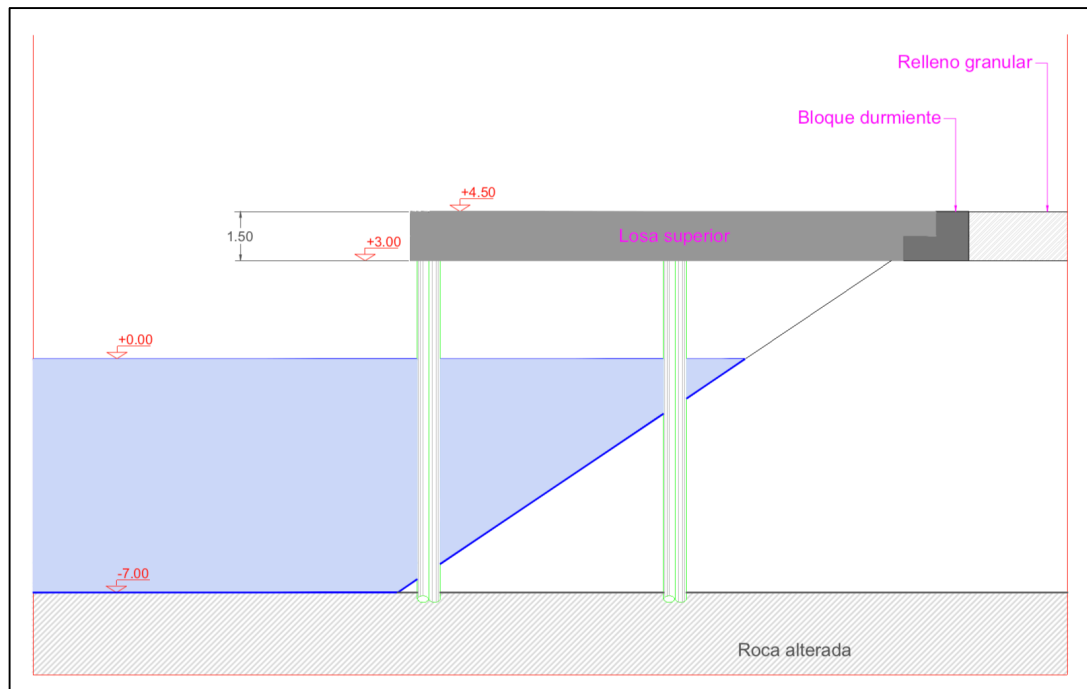


Ilustración 11: Sección de cálculo de la alternativa 2



10.2.3. Modos de fallo:

Se han comprobado todos los modos de fallo que la ROM indica para cada tipología. Estos son:

- Alternativa 1:
 - Fallos del tipo GEO:
 - Verificación de la seguridad frente al hundimiento
 - Fallo del tipo EQU:
 - Verificación de la seguridad frente al deslizamiento
 - Verificación de la seguridad frente al vuelco rígido:

- Alternativa 2:
 - Fallos del tipo GEO:
 - Verificación de la seguridad frente al hundimiento
 - Rotura por empuje horizontal:
 - Fallos del tipo EQU:
 - Verificación de la seguridad frente al arranque
 - Fallos del tipo STR:
 - Capacidad estructural del pilote

10.2.4. Estimación de los esfuerzos de cálculo y valores resistentes. Coeficientes de seguridad:

El primer paso es obtener los esfuerzos que se aplicaran sobre las estructuras. Para ello se han ponderado todas las acciones estudiadas según la ROM en función de la tipología del fallo y se han determinado los esfuerzos más desfavorables. Una vez determinados estos esfuerzos se ha calculado mediante la ROM 0.5 – 0.5 los valores resistentes de cada modo de fallo:

- Alternativa 1:

| Modo de fallo | Esfuerzo de cálculo (MN) | Valor resistente (MN) | Coefficiente de seguridad |
|--|--------------------------|-----------------------|---------------------------|
| GEO. ROTURA DEL TERRENO (HUNDIMIENTO) ¹ | 0,489 | 5,179 | 11,8 |
| EQU. DESLIZAMIENTO | 0,785 | 1,589 | 2,0 |
| EQU. VUELCO RIGIDO | Momento volcador | Momento estabilizador | 1,5 |
| | 2,720 | 4,119 | |

¹ Este modo de fallo se comprueba con presión. Por tanto, los valores están en MPa.



- Alternativa 2:

| Modo de fallo | Esfuerzo de cálculo (MN) | Valor resistente (MN) | Coefficiente de seguridad |
|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| GEO. ROTURA DEL TERRENO (HUNDIMIENTO) | 2,4 | 13,428 | 5,6 |
| EQU.ARRANQUE | 0 | 0,190 | ∞ |
| EQU. ROTURA HORIZONTAL | 0,199 | 0,337 | 1,8 |
| STR. TOPE ESTRUCTURAL | Pilote virtual | | 3,2 |
| | 2,41 | 7,7 | |
| | Pilote más solicitado ² | | 1,5 |
| | 1,3 | 1,92 | |

Una vez determinados estos esfuerzos se han realizado las verificaciones de seguridad anteriormente explicadas y se han conseguido factores de seguridad viables en todos los fallos. Toda esta información se puede ampliar en el anejo del cálculo de alternativas.

10.2.5. Otras comprobaciones:

- Cálculo de las acciones referidas al terreno:

Estas acciones que forman parte de la alternativa 1 se han tenido en cuenta a la hora de realizar las combinaciones de acciones

- Empuje activo en el trasdós -> $E_a = 0,5$ MN
- Carga hidráulica -> $E_{w1} = 0,0013$ MN
- Subpresión -> $E_{w2} = -0,49$ MN

- Viga cantil:

La viga cantil de la alternativa 1 ha sido necesario dimensionarla. En este caso se ha comprobado a deslizamiento y vuelco rígido, obteniendo un ancho de 4 metros y un espesor de 3,6 metros.

- Defensa:

Los detalles de la defensa ya han sido explicados en puntos anteriores. Esos detalles han sido obtenidos mediante el siguiente procedimiento de cálculo:

1. Cálculo de la energía cinética del buque:

Se ha realizado según lo indicado por la ROM para un buque máximo (Defensa principal) y para la flota nacional (Defensa complementaria). Obteniendo una energía máxima de 233 kNm y por tanto lo más recomendable es una defensa tipo V – 400. En cuenta a la defensa complementaria la energía del impacto del barco es de tan solo 6,7 kN.

² Pilote más solicitado en función del efecto pantalla de la GCOG



2. Determinación de la reacción generada:

Esta reacción viene dada por el fabricante. En este caso al ser la reacción de la defensa complementaria tan pequeña, se ha optado por solo tener en cuenta para el cálculo la de la defensa principal. Una reacción máxima de 742 kN en cada defensa.

Los datos geométricos y los valores numéricos vienen expresados en los anejos.

10.3. Resultados obtenidos:

Después de realizar todos los cálculos y comprobaciones pertinentes se ha llegado a las siguientes secciones. Las secciones determinadas se pueden consultar con detalle en el documento planos. A continuación, solo se muestran pequeño croquis orientativos y una descripción de algunos detalles.

10.3.1. Alternativa 1:

- Material de relleno -> Colocado tras el pedraplen en talud 1V : 1.5H
- Banqueta -> Dimensionada en función de la inclinación del lecho de roca
- Relleno superestructura -> Solo para predimensionamiento
- Viga cantil -> Hormigón en masa

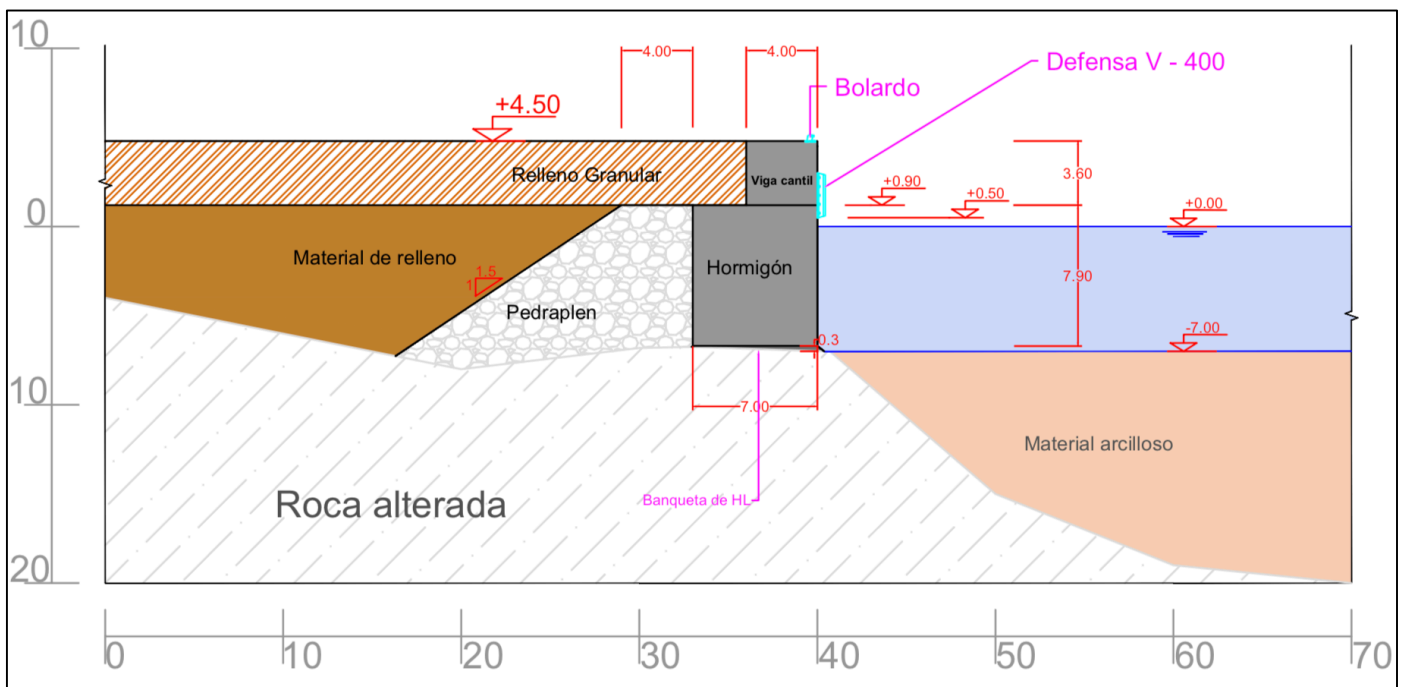


Ilustración 12: Croquis de la alternativa 1 (En ningún caso se puede usar como plano constructivo)

10.3.2. Alternativa 2:

- Relleno superestructura -> Solo para predimensionamiento
- Bloque durmiente -> Hormigón armado. Da continuidad entre la plataforma y el relleno
- Longitud mínima empotramiento -> 1 metro

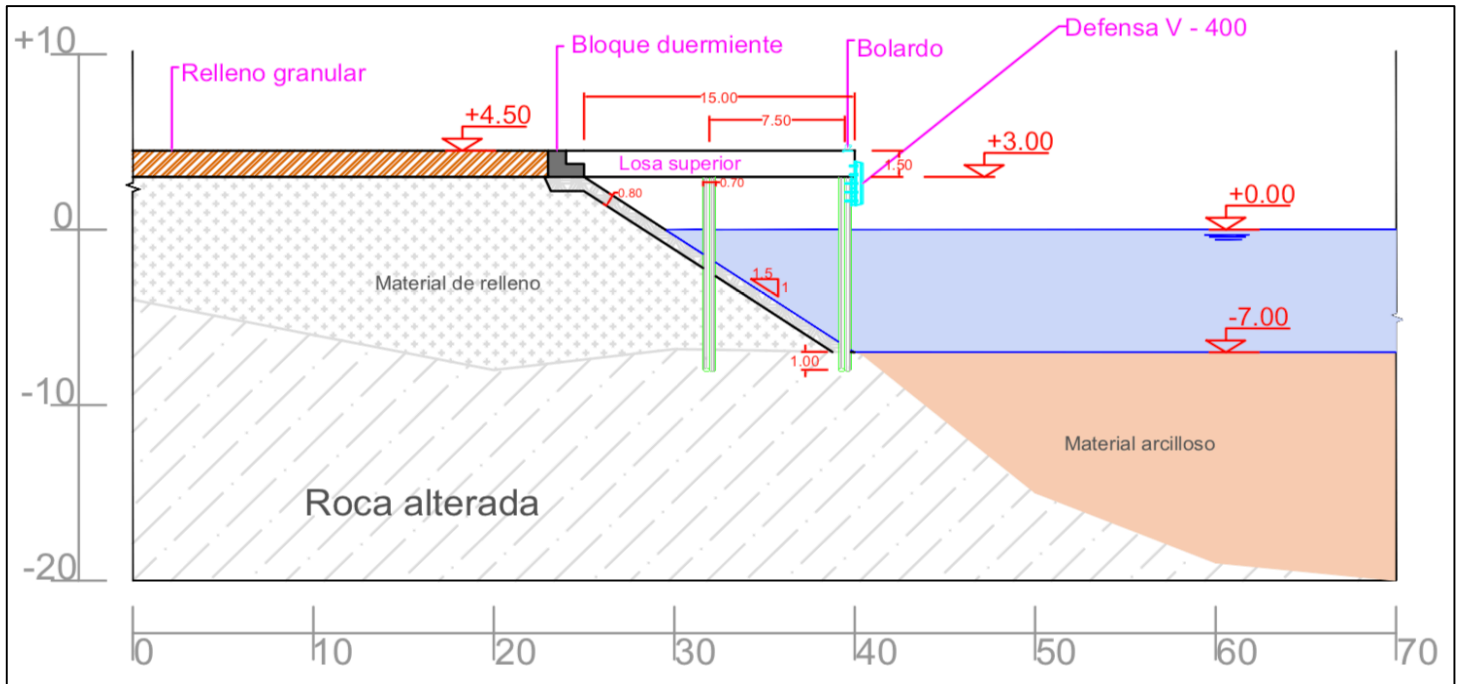


Ilustración 13: Croquis de la alternativa 2 (En ningún caso se puede usar como plano constructivo)

11. Valoración de las alternativas:

Una vez determinadas todas las características de cada alternativa es momento de determinar la solución adoptada para resolver el problema planteado. Para ello se llevará a cabo una relación multicriterio. Esta evaluación tendrá en cuenta varios criterios como: Economía, viabilidad, estética... Posteriormente se asignará un peso a cada criterio y se obtendrá una puntuación de cada alternativa.

11.1. Evaluación multicriterio:

11.1.1. Viabilidad:

Para este criterio se ha optado por analizar la viabilidad en el estado actual a largo plazo con la posibilidad de realizar una ampliación, tanto de calado como de ancho.



○ Situación actual:

En este criterio se han tenido en cuenta dos aspectos básicos: Afección a la navegación y la posibilidad de explotar el muelle con diferentes usos.

La alternativa 1 produce una gran afección a la navegación debido a su gran paramento generando reflexión del oleaje. Por otro lado, el muelle de pilotes, al ser abierto y en talud, absorbe gran cantidad de la energía.

Además, se ha realizado un estudio para determinar los posibles usos del muelle teniendo en cuenta la estructura dispuesta y las tipologías de cada muelle. De este estudio se llegó a la conclusión de que el muelle de hormigón sumergido podría albergar gran cantidad de usos gracias a que es capaz de soportar grandes sobrecargas con las dimensiones estipuladas. Sin embargo, la alternativa 2 no sería capaz. Es cierto que los pilotes resistirían el esfuerzo, pero la plataforma superior no soportaría grandes sobrecargas debido a la gran distancia entre vanos.

○ Largo plazo:

Como se ha comentado en punto anterior, es muy posible que, a largo plazo, con el aumento de tráfico marítimo sea necesario ampliar el calado de la dársena y, por tanto, dragar el lecho adyacente al muelle. Por ello se muestra como sería esta posible ampliación en cada alternativa y la viabilidad de esta³:

▪ Alternativa 1:

La ampliación de calado conlleva el dragado en material arcilloso. Esto haría inviable el proceso al tener que dejar 2 metros entre el muelle y el talud para evitar inestabilidades y además tener que realizar un talud más tendido.

Por tanto, sería necesario ampliar también el muelle. Es por ello que, después de dragar todo el material arcilloso hasta la cota -12.00 metros, se debería construir otro bloque de hormigón junto al inicial. Este proceso es de gran complejidad al tener que crear una estructura monolítica entre estos dos elementos. Además, a este problema, habría que añadir el hecho de que hay que cimentar dicho bloque, para ello habría que introducir un relleno de escollera. Lo cual dejaría esta opción en muy mala posición.

▪ Alternativa 2:

La ampliación solo se podría realizar ampliando la plataforma e introduciendo un tercer pilote. Este debería tener mayor longitud para alcanzar el estrato de roca, que estaría a mayor profundidad, pero sería perfectamente viable y sin grandes complicaciones más allá del hecho de construir un pilote.

Todas estas posibles ampliaciones se encuentran ilustradas en el anejo 5 de este proyecto.

En conclusión, se considera que la alternativa 1 es mejor para la situación actual, ya que no se prevé que la afección a la navegación sea muy importante. Y que la alternativa 2 sería la mejor solución para las posibles ampliaciones a largo plazo. Para la evaluación conjunta el peso del criterio a corto plazo tendrá menor peso que la situación actual.

³ Se analiza cada alternativa suponiendo una ampliación de calado hasta la cota -12.00 m



11.1.2. Criterio constructivo:

El criterio constructivo es el elemento con más peso en la valoración, ya que, según la información recibida de la autoridad portuaria, la mano de obra es de baja cualificación y además la tipología de muelle de pilotes no se ha realizado nunca en el país.

Tal y como se puede ver en el anejo 5, la única fase compleja de la alternativa 1 es la instalación de los encofrados que la deberán hacer buzos especializados pero el resto no implica grandes complicaciones. Sin embargo, la alternativa 2 requiere entibaciones, excavaciones con lodos, grandes jaulas de armados, maquinaria especialidad, etc... Por lo que el proceso es de gran complejidad.

11.1.3. Criterio económico:

La valoración económica, en un principio, es el criterio que toma más peso pero tal y como se verá en los presupuestos, se diferencian en menos de 8% por lo que perderá peso en la evaluación. Esta pequeña valoración económica se realizará solo de las grandes unidades de obras diferenciadoras, es decir, las unidades de obra comunes como el dragado no se van a tener en cuenta. Por tanto, los precios obtenidos, en este apartado al ser la diferencia de coste entre ambas alternativas, solo se pueden considerar orientativos. En consecuencia, no se pueden considerar como un presupuesto.

o Alternativa 1:

El mayor coste son los 20.000 m³ de hormigón sumergido de gran calidad. Para la medición del encofrado se ha tenido en cuenta módulos de 10 metros, basándose en el proceso constructivo de realizar bloques alternos con encofrados a 4 y 2 caras.

| | Unidades | Sección | Metros lineales | Medición total | Precio / Unidad | Precio total |
|------------------------------------|----------------|---------|-----------------|----------------|----------------------------|-----------------------|
| Hormigón en masa | m ³ | 69,7 | 310 | 21.607 | 100 Euros / m ³ | 2.160.700,00 € |
| Encofrado | m ² | | | 5.024,4 | 50 Euros / m ² | 251.220,00 € |
| Relleno de pedraplen | m ³ | 88,8 | 310 | 27.528 | 25 Euros / m ³ | 688.200,00 € |
| Material de relleno | m ³ | 166 | 310 | 51.460 | 24 Euros / m ³ | 1.235.040,00 € |
| Relleno granular (Superestructura) | m ³ | 129 | 310 | 39.990 | 22 Euros / m ³ | 879.780,00 € |
| TOTAL | | | | | | 5.214.940,00 € |

o Alternativa 2:

Al ser el proceso constructivo más complejo, existen unidades de obra que también lo son. Los elementos más caros son la gran losa de 1,5 metros de canto y los pilotes, en este caso, realizados con el sencillo proceso de la excavación de pilotes de hormigón armado in situ mediante entibación de camisa perdida.



| | Unidades | Sección | Metros lineales | Medición total | Precio /unidad | Precio total |
|---------------------------------------|----------------|---------|-----------------|----------------|----------------------------|-----------------------|
| Pilotes de HA | m | 2,94 | 310 | 909,4 | 500 Euros / m | 454.666,67 € |
| Plataforma superior | m ² | 15 | 310 | 4.650 | 300 Euros / m ² | 1.395.000,00 € |
| Bloque durmiente | m ³ | 2,25 | 310 | 697,5 | 120 Euro / m ³ | 83.700,00 € |
| Material relleno | m ³ | 296 | 310 | 91.760 | 24 Euros / m ³ | 2.202.240,00 € |
| Manto exterior | m ³ | 14 | 310 | 4.340 | 28 Euros / m ³ | 121.520,00 € |
| Relleno granular (Superestructura) | m ³ | 35 | 311 | 10.885 | 22 Euros / m ³ | 239.470,00 € |
| TOTAL | | | | | | 4.496.596,67 € |

11.1.4. Criterio ambiental:

No se ha analizado la afección marina al ser prácticamente idéntica. En este caso, se ha optado por analizar la afección de los materiales al medio.

- Dragado: El lecho marino contiene combustibles y metales pesados, por lo que se debe tratar este material en vertederos especializados. Al ser un trabajo necesario en ambas alternativas no se considera diferenciador, pero era de gran importancia mencionarlo.
- Material de aporte: La alternativa 1 necesita más de 120.000 m³ entre material de aporte y pedraplen, mientras que la alternativa 2 necesita 105.000 m³.
- Proceso de hincas de los pilotes: No se considera la contaminación acústica debido a lejanía de la población

Tal y como se puede observar, la alternativa 1 genera una mayor afección debido a la mayor necesidad de material de aportación. Este punto, teniendo en cuenta las normativas europeas, tendría un gran peso en la valoración, pero la reglamentación uruguaya es más laxa en estos aspectos, por lo que se reducirá su influencia.

11.2. Resultados obtenidos:

La valoración conjunta se realiza en la siguiente tabla. Se muestra la valoración de las diferentes alternativas en las que los pesos, aunque similares, se han jerarquizado. En un principio se dará mayor importancia al criterio económico. A continuación, se valorará el proceso constructivo por petición de la autoridad portuaria. El criterio de viabilidad será el siguiente en peso, siendo más importante la viabilidad actual que la de una posible actuación, al ser un hecho futuro no confirmado. Y, por último, al no ser tan importante en la reglamentación uruguaya, el criterio ambiental.

La valoración se realizará sobre 5, siendo 0 nada valorado y 5 la máxima valoración:

| | | PESO | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 |
|----------------------------|------------------|------|---------------|---------------|
| Criterio constructivo | | 0,25 | 4 | 2 |
| Criterio económico | | 0,3 | 3 | 4 |
| Criterio de viabilidad | Situación actual | 0,2 | 4 | 3 |
| | Largo Plazo | 0,1 | 3 | 5 |
| Criterio ambiental | | 0,15 | 2 | 3 |
| Valoración conjunta | | | 3,3 | 3,25 |



Después de la valoración conjunta, es fácil determinar que la solución adoptada para el muelle de carga y descarga del nuevo módulo internacional pesquero del puerto de Capurro es la alternativa de muelle de hormigón sumergido.

12. Justificación de la solución adoptada:

Una vez se ha optado por el muelle de hormigón sumergido como solución al problema, se procede al dimensionamiento de otros elementos de menor índole, determinación de materiales y explicación del sistema constructivo.

12.1. Secciones tipo:

Tal y como se vio en el anejo geotécnico, el lecho de roca no es horizontal, de hecho, sufre grandes variaciones de cota. En consecuencia, es imposible cimentar todo el muelle a la cota -7.00 metros manteniendo una superficie horizontal para la colocación de los encofrados. Por tanto, se decide realizar el muelle en varios tramos con distinta cota de coronación. Tal y como se verá, la banqueta de hormigón de limpieza no será suficiente para alcanzar una superficie horizontal a la cota deseada, por ello, se usará en algunos tramos una banqueta de escollera enrasada con gravas. Las características de ambas banquetas son las siguientes:

- Banqueta de hormigón de limpieza: Se realiza con un espesor máximo de 30 cm y un hormigón de limpieza tipo HL-150/B/20
- Banqueta de escollera: Material de 100 – 200 kg coronado con una capa de enrase de gravas

Los tramos quedan determinados del siguiente modo:

| | Tramo | Cota cimentación (m) | Tipo de cimentación |
|---|----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| A | PK 0+000 a 96+000 | -5.00 | Banqueta de escollera |
| B | PK 96+000 a 199+000 | -5.60 | Banqueta de escollera |
| C | PK 199+000 a 217+000 | -7.00 | Banqueta de escollera |
| D | PK 217+000 a 250+00 | -7.00 | Banqueta de HL |
| E | PK 250+000 a 310+000 | -5.60 | Banqueta de escollera |

En el anejo de cálculo de este proyecto se realizaron los modos de fallo en base a una cota de cimentación de -7.00 metros. En el anejo 6 de este proyecto se ha verificado la estabilidad del resto de secciones tipo.

12.2. Bloque de hormigón sumergido:

- El bloque se realizará con hormigón bombeable de consistencia fluida, tamaño máximo de árido 25 mm, relación a/c de 0,4 y rápido fraguado -> HM-35/F/20/IIIc
- Se recomienda el uso de superplastificantes y aditivos antilavado
- En caso de interrupción del hormigonado se deberá limpiar la superficie con lanza de agua para evitar juntas por mezcla de sales y otros elementos



12.3. Trasdós del bloque:

- Pedraplen: Se realiza el extendido y compactación de material pétreo (tongadas de 60 cm), siendo recomendado el uso de rocas ígneas, sedimentarios o metamórficas resistentes y sin alteración.
- Material de filtro o de transición: Se realizará con gravas y un espesor de 40 cm. Se recomienda un material bien graduado, tamaño máximo de árido 60mm y con $DA < 40$.
- Relleno portuario: Se realizará con material granular tipo arena con contenido de finos $< 35\%$. Será vertido desde camión. Para cumplir con las especificaciones para firmes deberá ser compactado mediante precarga o vibroflotación.

12.4. Firmes y pavimentos:

- Relleno y explanada

Considerando una carga de cálculo y una intensidad de uso media, se ha obtenido una categoría de tráfico B. Es por ello, que la explanada se realizara mediante suelo seleccionado con $CBR > 10$. Teniendo en cuenta el relleno portuario tipo consolidado tipo BC y el material elegido para la explanada, se considera una explanada tipo E2. Por tanto, el suelo seleccionado de la explanada tendrá un espesor de 1 metros y se extenderá por tongadas de 40 cm.

- Base y firme

Para cumplir con las especificaciones de la ROM, se añadirá una capa de base de 0,25 metros de zahorra artificial. En cuanto al firme, se opta por un firme de hormigon compactado con rodillo por su facilidad de extensión. Además, se aplicará un tratamiento de fratasado y tratamiento antipolvo. Su espesor será de 30 cm en la zona de operación y 26 cm en la zona de almacenamiento.

Se realizará juntas de contracción mediante serrado cada 5 metros y se instalará una junta longitudinal de poliestireno en el encuentro entre firme y viga cantil.

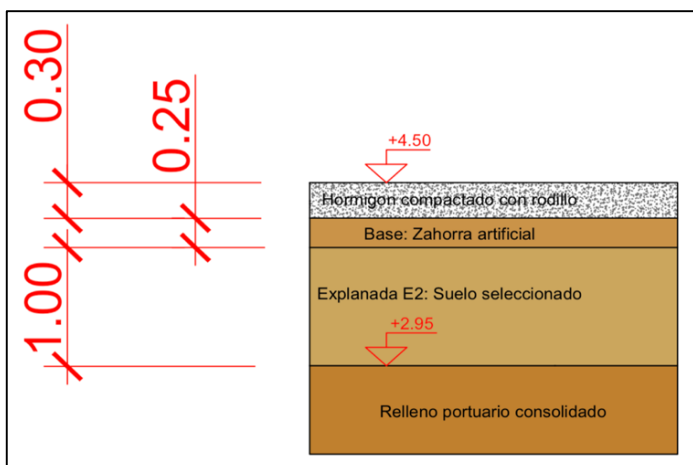


Ilustración 15: Sección tipo firme zona operación

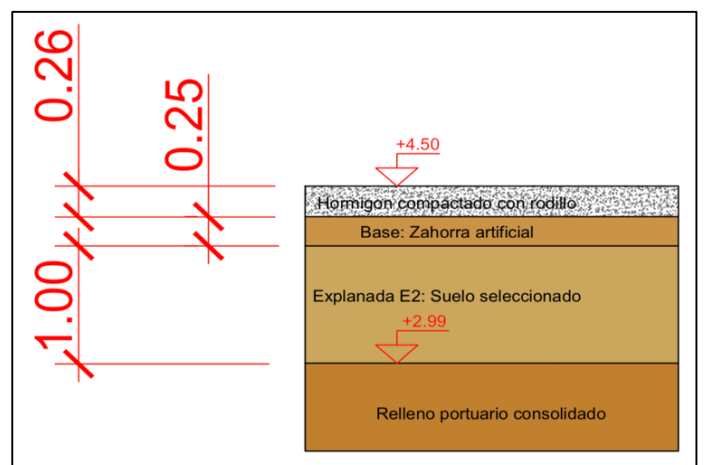


Ilustración 14: Sección tipo firme zona de almacenamiento



12.5. Proceso constructivo:

En el siguiente punto se realizará una breve explicación de las fases más importantes del proceso constructivo, así como de los puntos de mayor importancia.

1. Dragado del material arcilloso: Se recomienda realizarlo mediante draga de rosario de cangilones y, posteriormente, transportarlo a tierra mediante gánguil.
2. Secuencia de construcción del bloque de hormigón: Tal y como se ha comentado, el muelle posee varias cotas de ejecución por lo que se ejecutará en tramos, en el siguiente orden: C y D, B y E y por último el tramo A. Las fases del proyecto que se realizarán en este orden y en cada tramo son:
 - 2.1. Banqueta de cimentación: Realizada mediante medios marítimos con hormigón de limpieza o escollera, según el tramo
 - 2.2. Instalación de encofrados: Se apoyará en la banqueta de cimentación. Serán colocados por grúas y revisados por buzos. Durante la realización de los tramos se usarán encofrados de 2, 3 y 4 caras, siendo estos últimos de 10 metros de largo y el resto de longitud variable. El detalle de colocación se puede ver en el documento N°2.
 - 2.3. Hormigonado: Se realizará, en base a los tramos, mediante bomba y sin parada desde la mota.
3. Relleno del trasdós: Una vez esté terminada toda la secuencia de hormigonado, se procederá a la extensión del pedraplen mediante vertido directo por camión desde la mota.
4. Relleno portuario y filtro de transición: Vertido y perfilado del material de filtro. A continuación, relleno de la mota con más suelo seleccionado (Relleno portuario) hasta la cota +0.90 metros.
5. Hormigonado de la viga cantil mediante encofrado corrido
6. Coronación del relleno portuario: Tras la finalización de la viga cantil se colocará la parte superior del relleno (Cota 2.95 metros). Además, se realizará el proceso de consolidación.
7. Explanada y firme: Una vez el relleno esté consolidado y cumpla con las exigencias previstas se procederá al extendido de la explanada, base y firme.
8. Instalación de elementos auxiliares

La mota necesaria para el paso de maquinaria y personal se realizará a criterio del constructor, pero se recomienda su realización de suelo seleccionado, ya que se podrá usar como parte del relleno portuario. Además, el paso de maquinaria contribuirá a la consolidación del material.



13. Presupuesto:

La valoración económica de la solución adoptada ha sido determinada en el documento N°3 de este estudio. En él se han dividido las actuaciones en 6 capítulos: Dragado, enrase y adecuación de la zona de replanteo, elementos estructurales del muelle, trasdós del muelle, firme y pavimento y, por último, otros elementos.

En base a los datos proporcionados por la autoridad portuaria, bases de datos nacionales y otros medios, se han determinado los precios unitarios de cada unidad de obra. A continuación, se han realizado las mediciones en base al documento N°2 planos y, para finalizar, se ha determinado el coste total de cada unidad de obra y, en consecuencia, el capítulo.

Dichos resultados se pueden observar a continuación:

| Capítulo | Importe |
|---|-----------------------|
| Capítulo 1: Dragado | 1.810.337,30 € |
| Capítulo 2: Enrase Y Adecuación De La Zona De Replanteo | 137.231,10 € |
| Capítulo 3: Elementos Estructurales Del Muelle | 2.576.380,02 € |
| Capítulo 4: Trasdós Del Muelle | 1.754.157,33 € |
| Capítulo 5: Firme Y Pavimento | 743.816,55 € |
| Capítulo 6: Otros Elementos | 51.200,00 € |
| PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL | 7.073.122,30 € |

| | |
|-----------------------------------|------------------------|
| Presupuesto de ejecución material | 7.073.122,30 € |
| 13% Gastos generales | 919.505,90 € |
| 6% Beneficio industrial | 424.387,34 € |
| Total | 8.417.015,54 € |
| 21% IVA | 1.767.573,26 € |
| PRESUPUESTO DE LICITACION | 10.184.588,80 € |

Con todo esto se puede concluir que el presupuesto de licitación asciende a la expresada cantidad de diez millones ciento ochenta y cuatro mil quinientos ochenta y ocho con ochenta céntimos.

14. Conclusiones:

Estimo que las exposiciones realizadas tanto en el documento memoria como en sus anejos, así como con el resto de documentos que integran este estudio, son suficientes para justificar la solución adoptada.

15. Bibliografía:

- ROM. Recomendaciones de obras marítimas. Normativa española en proyectos portuarios:
 - ROM 2.0 – 11: Obras de Atraque y Amarre: Criterios generales y Factores del Proyecto (Tomos I y II)
 - ROM 0.5 – 05: Geotecnia para las Obras Marítimas y Portuarias
 - ROM 0.0 (2001): Procedimiento General y Bases de Cálculo para Proyectos en Obras Marítimas (Parte I)



- ROM 4.1 – 94: Proyecto y Construcción de los Pavimentos Portuarios
- ROM 3.1 – 99. Configuración marítima de los Puertos: Canales de acceso y áreas de flotación
- CEM (Coastal Engineering Manual)
- Dirección nacional de Minería y Geología. Ministerio de Industria, Energía y Minería
- Guía de cimentaciones en obras de carretera. Ministerio de Fomento
- PROSERTEK. Harbour Equipment
- Norma Uruguaya para Proyecto de puentes y carreteras, editada por el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, aprobada por el Real Decreto 9/1990.
- Normativa internacional sísmica, Uniform Building Code
- NTE – CCT. Norma tecnología. Cimentaciones. Contenciones. Taludes
- Base de precios. Puerto base 2017. Conselleria d’habitatge, obres públiques i vertebració del territori. Generalitat Valenciana
- Orden circular 37/2016. Base de precios de referencia de la dirección general de carreteras. Ministerio de Fomento. Gobierno de España
- Institut de tecnologia de la construcció de Catalunya (ITEC)
- Generador de precios. España (CYPE Ingenieros S.A)

16. Anejos a este documento:

La presente memoria se complementa con los anejos siguientes. En cada uno de ellos se puede ampliar con más detalle toda la información de esta memoria:

ANEJO Nº1: Antecedentes

ANEJO Nº2: Bases de diseño

ANEJO Nº3: Geología y geotécnica

ANEJO Nº4: Cálculo de alternativas

ANEJO Nº5: Valoración de alternativas

ANEJO Nº6: Justificación de la solución adoptada

Valencia, junio de 2018

El autor del estudio:

David Marco Ramos