

ANEJO 9

ESTUDIO DE SOLUCIONES



ÍNDICE

9.1	ESTUDIO DE SOLUCIONES EN PLANTA	3
9.2	ESTUDIO DE SOLUCIONES DE OBRAS DE ABRIGO	36
9.3	ESTUDIO DE SOLUCIONES DE MUELLES	56
9.4	ESTUDIO DE SOLUCIONES DE PANTALANES	84



ANEJO 9.1

ESTUDIO DE SOLUCIONES EN PLANTA



ÍNDICE GENERAL

1. OBJETO	6
2. METODOLOGÍA PARA LA ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	7
3. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES	8
3.1. INTRODUCCIÓN	8
3.2. ALTERNATIVA 1	8
3.3. ALTERNATIVA 2	10
3.4. ALTERNATIVA 3	12
4. CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO	13
4.1. CONDICIONANTES LEGALES	13
4.2. CONDICIONANTES FÍSICOS	13
4.3. CONDICIONANTES TÉCNICOS	14
4.4. CONDICIONANTES FUNCIONALES	14
4.5. CONDICIONANTES ECONÓMICOS	15
4.6. CONDICIONANTES AMBIENTALES	15
4.7. CONDICIONANTES ESTÉTICOS	15
5. COEFICIENTES DE PONDERACIÓN	17
6. VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS	19
6.1. ALTERNATIVA 1	19
6.2. ALTERNATIVA 2	20
6.3. ALTERNATIVA 3	22
6.4. VALORACIÓN FINAL	23
7. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	24
8. DIMENSIONAMIENTO INTERNO	26
8.1. ESTUDIO DE SUPERFICIES	26
8.1.1. INTRODUCCIÓN	26
8.1.2. SUPERFICIES ACTUALES	26
8.1.3. SUPERFICIE MARÍTIMA	26
8.1.4. SUPERFICIE TERRESTRE	28
8.2. COMPROBACIONES	31
8.2.1. DIFRACCIÓN	31
8.2.2. CÍRCULO DE MANIOBRA	34



ÍNDICE IMÁGENES

1. Figura 1. Alternativa 1 en planta	9
2. Figura 2. Alternativa 2 en planta	11
3. Figura 3. Alternativa 3 en planta	12
4. Figura 4. Artículo 42. Capítulo II, Proyectos y Obras, Ley 22/1988, de 28 de Julio, de Costas	13
5. Figura 5. Solución escogida	25
6. Figura 6. Difracción de la primera aproximación del dique	32
7. Figura 7. Difracción de la segunda aproximación del dique	33
8. Figura 8. Círculos de maniobra en las dos dársenas existentes	34
9. Figura 9. Ruta de acceso para periodo de temporales	35

ÍNDICE TABLAS

1. Tabla 1. Puntuación criterios	16
2. Tabla 2. Coeficientes de ponderación de criterios	18
3. Tabla 3. Valoración de cada alternativa	23
4. Tabla 4. Elección de la alternativa escogida	24
5. Tabla 5. Suma de superficies terrestres	30



1. OBJETO

En el presente anejo se pretende desarrollar un estudio de las alternativas existentes a la obra a proyectar, de manera que se pueda llevar a cabo una evaluación crítica y objetiva de las conveniencias de las distintas soluciones, así como de la definición de cuál es la solución óptima para el problema que se plantea en este proyecto.

Una vez definidas las condiciones de partida y las necesidades a satisfacer, cabe el análisis de diferentes posibles soluciones a adoptar. La elección de la solución más favorable es el resultado de un complejo proceso iterativo en el que convergen, simultánea y sucesivamente, no sólo las condiciones funcionales y técnicas, sino también razones de tipo estético, de carácter tecnológico, ambientales y económicas, siempre dentro de las preinscripciones impuestas por la reglamentación vigente en materia portuarias.

Los enfoques desde los cuales se puede abordar el problema de la elección son diversos. Debido a la dificultad de realizar un estudio comparativo global de todas las alternativas viables, se tomará una decisión atendiendo a tres criterios evidentes, que serán los de índole técnica, funcional y económica, pero sin olvidar el criterio físico, la calidad estética y el respeto medioambiental y sobretodo, los condicionantes legales. Es obvio que los siete criterios mencionados están interrelacionados, no siendo fácil en general, el análisis de cada uno por separado.

De esta manera, se busca la mejor distribución en planta para la ampliación de las instalaciones náutico-deportivas del puerto de Oliva.

La redacción de este anejo se basa en los resultados obtenidos en diversos anejos previos a este, los cuáles se nombran a continuación:

- *“Anejo 6. Clima marítimo y dinámica litoral”*. En este anejo se analizan las características del oleaje en la zona, fundamentalmente en régimen de temporales.
- *“Anejo 8. Determinación de la demanda y flota tipo”*. En este documento se justifica el número de amarres adecuados para la ampliación, así como la flota tipo adoptada.
- *“Anejo 9. Condicionantes en el diseño de la bocana”*. Se fijan todos los condicionantes que serán necesarios para el dimensionamiento de la bocana; orientación, tamaño, calado, ruta de entrada...
- *“Anejo 10. Estudio de superficies”*. Aquí estudiamos las superficies mínimas necesarias, tanto marítimas como terrestres, para poder llevar a cabo la ampliación en su conjunto.



2. METODOLOGÍA PARA LA ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

De entre las alternativas planteadas, la selección de la que mejor puede resolver el problema debe tener en cuenta las circunstancias que lo rodean. Para ello el análisis multicriterio es una herramienta muy útil que permite emitir un juicio comparativo entre proyectos.

En un principio, este método fue desarrollado en el ámbito de las ciencias económicas y en el de la ingeniería industrial. Desde la segunda mitad de la década de 1970, el análisis multicriterio, también conocido como "ayuda multicriterio a la decisión", empezó a experimentar un importante desarrollo, hasta convertirse, de por sí, en una herramienta científica.

En el ámbito de la evaluación, el análisis multicriterio se emplea especialmente en evaluaciones ex-ante, más concretamente en la definición de opciones estratégicas de intervención. El análisis multicriterio es un método que permite orientar la toma de decisiones a partir de varios criterios comunes. Este método se destina esencialmente a la comprensión y a la resolución de problemas de decisión. Se utiliza para emitir un juicio comparativo entre proyectos o medidas heterogéneas, por lo que puede emplearse en evaluación.

Su objetivo es alcanzar una solución mediante la simplificación del problema, respetando en todo momento las preferencias de los actores. Para poder realizar un análisis multicriterio, es necesario disponer de un conjunto de acciones o alternativas competitivas. Para cada una de estas acciones, a través del análisis se elaborará:

- Una familia de criterios que permita formar juicio sobre estas acciones.
- Una tabla de valoración de las acciones por criterio.
- Una agregación de los resultados para realizar una clasificación por orden de preferencia.

El análisis multicriterio puede realizarse a partir de datos tanto objetivos como subjetivos. Los pasos a seguir en un análisis multicriterio se resumen a continuación:

1. **Objetivo:** seleccionar la mejor alternativa.
2. **Alternativas:** plantear las alternativas posibles para la resolución del problema.
3. **Criterios:** establecer los criterios a emplear en la toma de decisiones.
4. **Ponderación:** asignar una ponderación a cada uno de los criterios establecidos.
5. **Valoración:** establecer el nivel de satisfacción de cada alternativa.
6. **Puntuación:** calcular la puntuación obtenida por cada alternativa.
7. **Selección:** la alternativa que presente puntuación más alta, será la alternativa recomendada.



3. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

3.1. Introducción

En este apartado se plantean las distintas distribuciones posibles para llevar a cabo la ampliación y acondicionamiento de las instalaciones. A partir unos criterios que se expondrán en los siguientes apartados se irá decidiendo la ubicación de los diques, muelles, pantalanes y servicios.

Se comenzará por la ubicación definitiva de las obras de abrigo, que definen la superficie sobre la que se materializa la ampliación y fijan los límites y dimensiones de la obra.

A continuación se realizará una descripción de cada una de las soluciones propuestas, para, atendiendo a unos criterios de dimensionamiento que prefijaremos, poder ir descartando y obteniendo conclusiones para poder llegar a una solución definitiva.

3.2. Alternativa 1

La alternativa 1 consiste en una ampliación de la zona norte del puerto, en la cual se verían modificados la alineación perpendicular a la costa del dique y la zona de atraque norte. Al desplazar el dique hacia el norte se obtiene una superficie mayor donde albergar la nueva demanda de embarcaciones. Para esto, es necesario dismantelar parte del dique norte, construir la nueva alineación y ocupar gran parte de la playa de Terranova, la cual se apoya actualmente en el puerto.

La ampliación afecta directamente al muelle norte realizado en la ampliación de 2002, siendo necesario el dismantelamiento del muelle situado en el actual dique y de los atraques que actualmente se apoyan en el. De esta manera, el actual muelle se sustituye por una zona de pantalanes mucho más amplia, optimizando mejor el espacio y poniendo a disposición muchos más atraques en los cuales las embarcaciones de mayor eslora estarían situados más próximas a la bocana.

Esta solución conlleva la construcción total de la alineación perpendicular a la costa y de parte del dique más alejado. En el pie de este dique se apoyaría la playa, al igual que en la actualidad pero algo más al norte.

Además se prolonga el extremo del dique en dirección paralela a la costa para así mejorar el comportamiento frente al oleaje y reducir los aterramientos en la bocana. También se prolonga el contradique por el mismo motivo, lo cual produciría que la pequeña playa que se apoya en la actualidad en el contradique y en el tacón de éste desapareciese debido a que la incidencia del oleaje se vería reducida y no se produciría un transporte de sedimentos hacia esta zona.



Para ampliar el área terrestre, se ejecuta un relleno en el cambio de alineación del dique, capaz de albergar los servicios terrestres necesarios para la ampliación, este relleno sirve a su vez de muelle para otras aplicaciones. El relleno se puede ejecutar con el material desmantelado del anterior dique y con material de dragado. En esta nueva superficie se sitúa la nueva marina seca capaz de almacenar un total de 130 embarcaciones, las 60 que a día de hoy tienen su amarre en esta zona y 70 embarcaciones más con tal de poder hacer frente a la demanda futura.

La zona de varado actual queda libre para la ejecución de una nueva zona de aparcamiento, por lo tanto se podría realizar una distribución de los aparcamientos: los clientes con embarcaciones en el norte tendrían acceso al nuevo parking mientras que los usuarios con embarcaciones en el sur o que quieren acceder al club tendrían acceso al parking viejo.

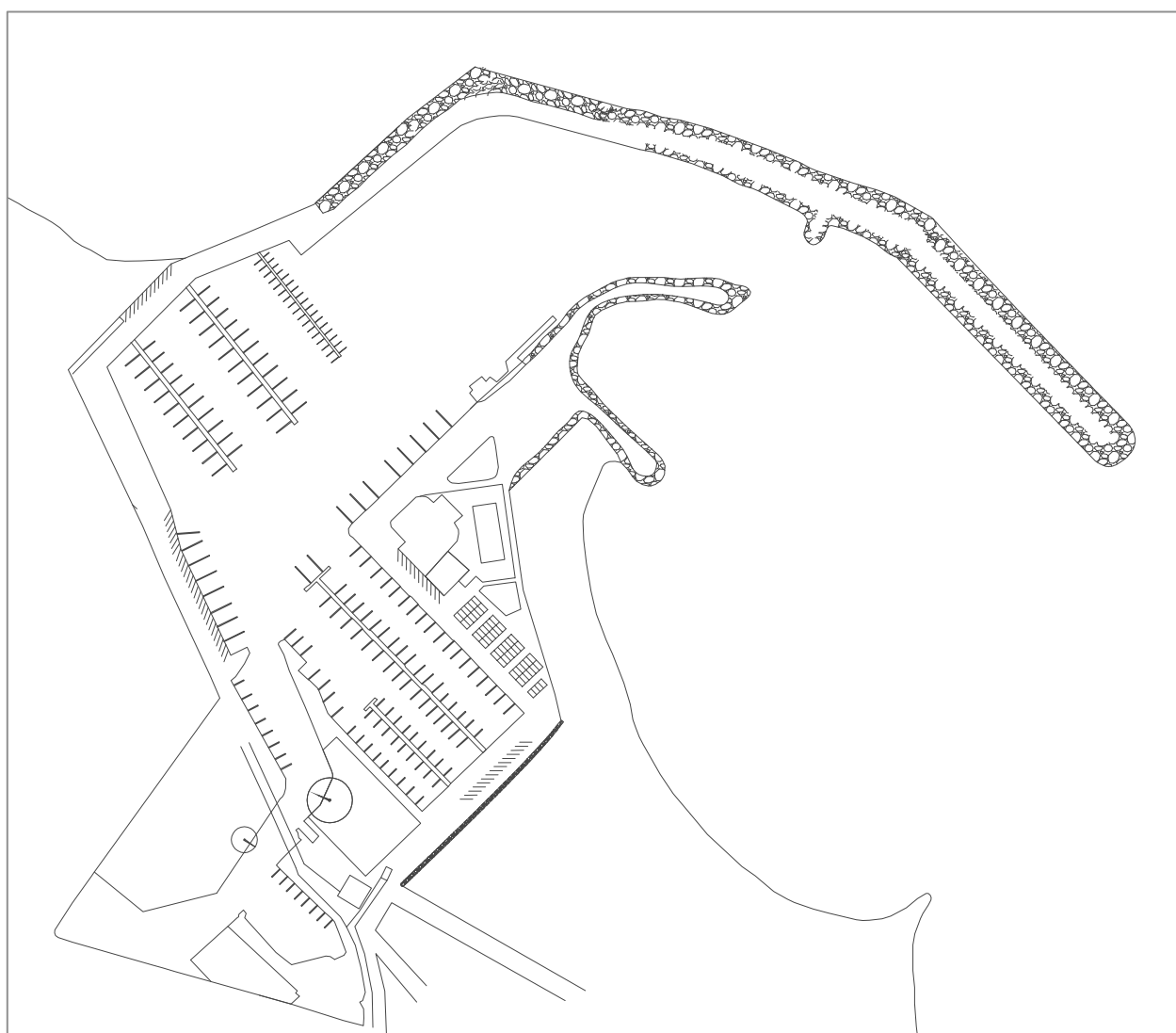


Figura 1. Alternativa 1 en planta



3.3. Alternativa 2

La alternativa 2 consiste en la ejecución de una nueva zona de amarre donde actualmente se encuentra la superficie que alberga el club social, el parking y la playa sur. Para ello se tiene que demoler el edificio social, dismantelar los muelles que delimitan esta zona y dragar toda la zona hasta alcanzar el calado requerido.

La actual dársena se ampliará con la ejecución de una serie de pantalanés, paralelos a los actuales, de manera que se conseguirían más amarres. Aquellos amarres destinados a las embarcaciones de mayor calado quedan situados más próximos a la bocana.

Para delimitar esta zona se ejecuta un nuevo contradique perpendicular a la línea de costa que empieza en la playa sur actual y se adentra en el mar hasta situarse a la altura del morro del actual contradique donde se unen. Esta solución afecta de forma directa a la playa apoyada sur, la cual deberá de eliminarse para ejecutar la nueva zona de amarres.

En el contradique se apoya una explanada que se podrá ejecutar con material de dragado y restos de las demoliciones. Sobre esta nueva explanada se sitúa el nuevo edificio del club social, la nueva zona de aparcamiento de mayores dimensiones y la marina seca con capacidad para 130 embarcaciones. Además, en los muelles se dispondrá una zona de recepción de embarcaciones y de combustible. Se dejaría una zona libre para ejecutar una ampliación de los aparcamientos.

En esta solución, se respeta el dique norte aunque se prolonga el extremo en dirección paralela a la costa para solucionar el grave problema que existe en el puerto con los aterramientos en la bocana.

La zona de varada se encontraría en el mismo lugar que la situación actual.

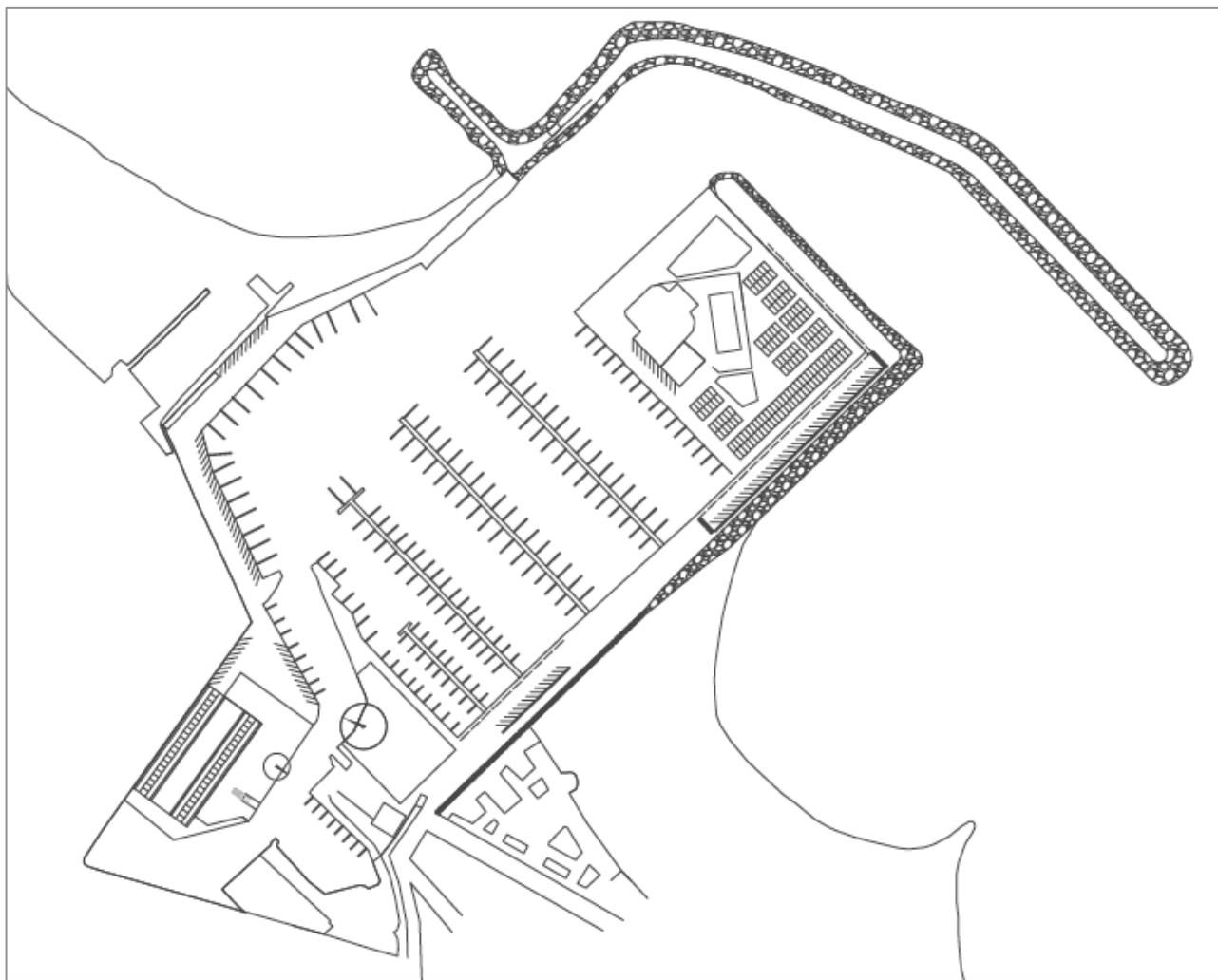


Figura 2. Alternativa 2 en planta



3.4. Alternativa 3

La alternativa 3 consiste en una ampliación de la explanada actual donde se encuentran actualmente los servicios que permita ampliar la zona de aparcamientos. Para obtener más puntos de amarre se opta por dismantelar el contradique actual y ejecutar otro sur perpendicular a la línea de costa desplazado más hacia el sur para así abrigar un área mayor. El contradique cambia de alineación para delimitar y proteger mejor la zona nueva de amarres.

Esta alternativa busca crear una nueva dársena, separada de la otra dársena por el espacio terrestre en el que se encuentra el edificio del Club Náutico y demás servicios, que pueda abarcar la demanda estudiada, situando las embarcaciones de mayor eslora más cerca de la bocana.

El dique norte también se prolonga paralelo a la costa con el fin de poder solucionar el problema de aterramientos en la bocana.

Como en la alternativa 2, al arrancar el contradique desde la playa y ampliar la actual explanada, la playa sur ve desplazada hasta apoyarse en el nuevo contradique.

Se pretende crear un aparcamiento en la nueva explanada en la que seguirán encontrándose los edificios del Club Náutico, piscina y demás servicios además de los aparcamientos que se encuentran en batería en el resto del puerto, tanto en la parte norte como en la sur. Se crea un nuevo muelle de recepción y de combustibles. La zona de varada sigue en el mismo lugar que en la actualidad.

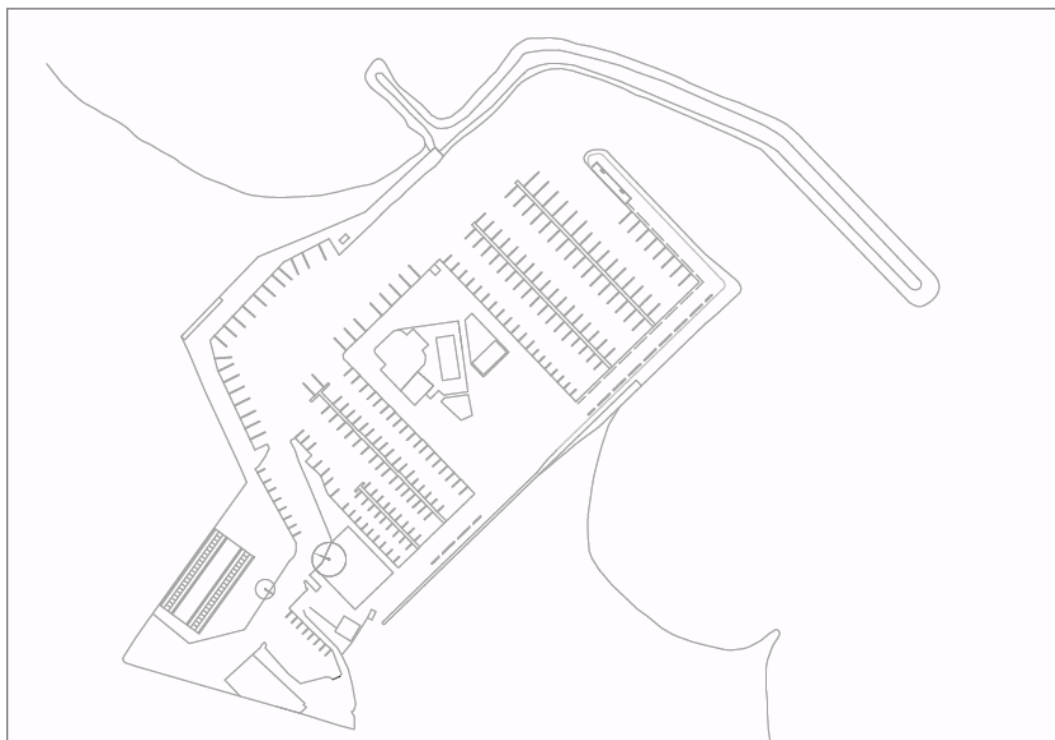


Figura 3. Alternativa 3 en planta



4. CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO

En este apartado se fijan de forma más específica los criterios a seguir en el análisis de las distintas soluciones. Estos criterios ya se han comentado anteriormente por lo que en las siguientes líneas se describen brevemente con tal de tener una idea global de cada uno de ellos.

4.1. Condicionantes legales

Los condicionantes legales que tenemos están básicamente relacionados con la Ley 22/1988, de 28 de Julio, de Costas. Publicada en el BOE Nº 181, de 29 de Julio de 1988.

Esta ley condiciona la geometría y ubicación del puerto en la medida de que una actuación situada en la costa pueda modificar la hidrodinámica marina y que esto afecte a la estabilidad de las playas colindantes, En el capítulo II, más concretamente en el artículo 42 se menciona lo siguiente:

CAPITULO II Proyectos y obras Artículo 42 1. Para que la Administración competente resuelva sobre la ocupación o utilización del dominio público marítimo-terrestre, se formulará el correspondiente proyecto básico, en el que se fijarán las características de las instalaciones y obras, la extensión de la zona de dominio público marítimo-terrestre a ocupar o utilizar y las demás especificaciones que se determinen reglamentariamente. Con posterioridad y antes de comenzarse las obras, se formulará el proyecto de construcción, sin perjuicio de que, si lo desea, el peticionario pueda presentar éste y no el básico acompañando a su solicitud. 2. Cuando las actividades proyectadas pudieran producir una alteración importante del dominio público marítimo-terrestre se requerirá además una previa evaluación de sus efectos sobre el mismo, en la forma que se determine reglamentariamente. 3. El proyecto se someterá preceptivamente a información pública, salvo que se trate de autorizaciones o de actividades relacionadas con la defensa nacional o por razones de seguridad. 4. Cuando no se trate de utilización por la Administración, se acompañará un estudio económico-financiero, cuyo contenido se definirá reglamentariamente, y el presupuesto estimado de las obras emplazadas en el dominio público marítimo-terrestre.

Figura 4. Artículo 42. Capítulo II, Proyectos y obras. Ley 22/1988, de 28 de Julio, de Costas. Fuente: BOE Nº 181

4.2. Condicionantes físicos

Este aspecto engloba tanto la localización geográfica del puerto como los agentes medioambientales a tener en cuenta.

Atendiendo a la localización geográfica cabe destacar que el núcleo urbano de la localidad de Oliva se encuentra alejado del puerto un par de kilómetros. Esto es muy propio sobre todo en los antiguos puertos pesqueros del Mediterráneo. En la zona del puerto surgen pequeñas poblaciones, en especial en la Comunidad Valenciana, denominadas “Graos”. En ellos se afincaban antiguamente los pescadores haciendo que con el paso de los años apareciesen poblados bastante desarrollados que, como en el caso de Valencia, fueron absorbidos finalmente



por el núcleo urbano de la ciudad. En el caso de Oliva, este poblado marítimo no llegó a ser absorbido y en la actualidad, dada la escasez de actividad pesquera en la dársena de “La Goleta” está dedicado casi exclusivamente al turismo. Respecto al terreno que encontramos, hacia el sur se aprecia un terreno bastante llano, con grandes dunas que forman playas de gran extensión, mientras que hacia el norte, si bien es verdad que el terreno es muy similar, las playas tienen una menor extensión debido esto casi en su totalidad a la deriva litoral procedente del Puerto de Gandía al norte de la instalación portuaria.

Por tanto, la ampliación del puerto se podría realizar tanto por el sur como por el norte, sin embargo, intentaremos encontrar una solución óptima que afecte lo menos posible a las playas situadas en ambos márgenes del puerto.

4.3. Condicionantes técnicos

Se debe de tener muy en cuenta el régimen de temporales. Como bien sabemos, los temporales de mayor frecuencia e intensidad son los de levante, por lo que se han de diseñar las obras de abrigo de forma que el puerto quede protegido frente a ellos. El dique actual protege eficazmente frente a tales direcciones de oleaje, por lo que parece lógico que la ampliación sea una prolongación del dique en la misma dirección que presenta ahora, o sensiblemente parecida, dentro de un intervalo razonable de posibilidades.

4.4. Condicionantes funcionales

El puerto deportivo va a ser ampliado admitiendo una mejora en la organización del mismo. Los condicionantes generales van relacionados con la existencia de una buena accesibilidad desde el exterior, con la navegabilidad interior del puerto y con la disposición de espacios suficientes para que ésta tenga lugar. Es decir, estos dos últimos aspectos relacionados tanto con la agitación interior, como con aspectos relacionados con las anchuras de los canales de navegación. Con respecto al uso deportivo, los dos condicionantes claves son los siguientes:

- Disposición de la suficiente superficie marítima como para poder disponer los suficientes amarres que se prevén en el estudio de la demanda.
- Disposición de la suficiente superficie terrestre para poder aparcar los vehículos de los usuarios del puerto.
- Existencia de servicios asociados a instalaciones náuticas como repostaje de combustible, servicios de restauración y ocio, etc.

Todos estos aspectos se han desarrollado en el “*Anejo 10. Estudio de superficies*”, justificando razonadamente las superficies mínimas necesarias para cada finalidad.



4.5. Condicionantes económicos

El tema económico es también un condicionante importante a la hora de diseñar y proyectar una obra civil pero hay que destacar que la obra de un puerto deportivo no presenta normalmente las características propias de una obra en las que se busca fundamentalmente, en la mayor parte de los casos, soluciones que buscan la economía y la seguridad. Este tipo de obras además de buscar los aspectos anteriores debe centrarse en buscar cierto tipo de atractivo visual y debe ser capaz de proporcionar a usuarios o no usuarios unos servicios característicos, que son aspectos que normalmente no van de la mano de la economía. Por tanto, deberemos intentar que los costes se reduzcan en la medida de lo posible, construyendo eficazmente, sin superar las necesidades establecidas y sin derrochar los medios de los que se dispone.

4.6. Condicionantes ambientales

Se debe tener en cuenta que los puertos generan un gran impacto ambiental en el ámbito marino, así que al ser una ampliación, las obras no deben empeorar gravemente la situación ambiental existente y se deben analizar tanto la fase de construcción como la fase de explotación y abandono. En el puerto en cuestión se debe prestar especial atención al aspecto medioambiental, ya que en las playas existentes tanto al Norte como al Sur de la instalación portuaria existen una serie de dunas que son la principal defensa de las mismas. Estas dunas son un sistema vivo en constante movimiento, de gran belleza y fragilidad. De hecho, El Ayuntamiento de Oliva, consciente de su singularidad, ha implantado el Sistema de Gestión Medioambiental (UNE EN ISO 14001:1996), para divulgar la importancia del ecosistema dunar y fomentarse el respeto. La salvaguarda de los cordones dunares es la mejor garantía de preservación de equilibrio dinámico de las playas y de su indudable valor paisajístico.

4.7. Condicionantes estéticos

Por último, pero no por ello menos importante, tenemos los condicionantes estéticos. Los aspectos estéticos van relacionados con la sensación de armonía e integración que debe tener el puerto tras su ampliación con las estructuras ubicadas en el mismo.

Desde el punto de vista paisajístico un puerto deportivo bien diseñado puede mejorar la estética y las posibilidades de ocio de las zonas urbanas. Esto puede conseguirse transformando los espacios adyacentes en paseos marítimos y/o garantizando el acceso público a muelles y recintos portuarios.

A cada criterio se le asignará una puntuación comprendida entre 1 y 6 según una valoración subjetiva reflejada en la tabla siguiente:



Valoración	Puntuación
Muy malo	1
Malo	2
Adecuado	3
Bueno	4
Muy bueno	5
Excelente	6

Tabla 1. Puntuación criterios



5. COEFICIENTES DE PONDERACIÓN

Se utilizan para evaluar la importancia de un criterio frente a los demás. A continuación se exponen los coeficientes elegidos y se intenta explicar con argumentos objetivos como se han hallado.

El aspecto más importante a considerar en la ejecución de cualquier proyecto de Obra Civil es el legislativo pues no se concibe la realización de un proyecto que no este dentro de un marco legal de obligado cumplimiento. Por tanto, dada la obligatoriedad existente en el cumplimiento de una serie de normas y leyes en la realización de la ampliación portuaria en cuestión, se establece un coeficiente de ponderación de **10** para el **criterio legal**.

Se ha considerado también como uno de los aspectos más relevantes el coste final de las obras, que en este caso, se podrá apreciar a grosso modo evaluando la longitud de los diques a construir, así como del uso de materiales y el procedimiento constructivo llevado a cabo. Además deberemos analizar otras gestiones económicas necesarias para solventar por completo el objeto del proyecto, como pueden ser los servicios afectados, el volumen de relleno necesario o la longitud de los nuevos pantalanés a disponer. Así, asignamos al criterio de **coste** un coeficiente de **10**.

En el caso del impacto ambiental y la funcionalidad de la obra, se considera que tienen prácticamente el mismo peso a la hora de comparar alternativas por lo tanto, se les asignará un coeficiente de **9** al **criterio funcional** y un coeficiente de **8** al **criterio ambiental**.

Para el caso de impacto ambiental, se valoran tanto los residuos producidos por las obras, como la ocupación temporal de las playas próximas al puerto por maquinaria de dragado. Por otra parte, se debe de tener en cuenta la maquinaria y el tránsito de la misma necesaria en cada método constructivo para realizar los trabajos de la reparación, aspecto a tener valorado por la emisión de gases así como ruidos y vibraciones.

Para la ponderación correspondiente a la facilidad constructiva, se considera el procedimiento de cada uno de ellos, centrándonos en el plazo.

Por otro lado, el aspecto técnico de la solución adoptada, es un elemento imprescindible para el éxito del proyecto. Así, los temporales que se pueden producir durante la construcción y puesta en servicio de la instalación portuaria, deberán de estar previamente estudiados en las alternativas de manera que, en el caso de que se produzcan, no conlleven con ellos daños importantes en el puerto, ya sea durante la ejecución de la ampliación o posteriormente durante su puesta en servicio. Por tanto, se atribuye un coeficiente de **7** al **criterio técnico**, porque aunque que sea un criterio importante, no sería lógico atribuir más importancia a este carácter que al resto de criterios, dado que no existirán grandes diferencias en las alternativas planteadas.



Si hablamos del **aspecto estético** de la obra, aunque importante, no será un criterio por el que la balanza se decante de un lado o de otro a la hora de elegir una u otra alternativa. Debido a ello, y siendo conscientes de la importancia que tiene la estética en un puerto deportivo, donde es necesario que exista un ambiente capaz de integrar la instalación portuaria en el entorno, garantizando a su vez la prestación de ciertos servicios tanto a usuarios como no usuarios, nos hemos inclinado por asignarle a este criterio una coeficiente de ponderación de **6**.

En cuanto a la ponderación del **criterio físico** se le atribuye un coeficiente de **5**, dado que todas las alternativas cumplen con el mismo grado de funcionalidad.

En la tabla siguiente se muestran los coeficientes adoptados para cada criterio:

Criterio	Ponderación
Legal	10
Económico	10
Funcional	9
Ambiental	8
Técnico	7
Estético	6
Físico	5

Tabla 2. Coeficientes de ponderación criterios

A continuación, se procede a analizar, mediante un análisis multicriterio, las distintas alternativas propuestas anteriormente.



6. VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS

La valoración de las tres alternativas consideradas con respecto a los criterios establecidos se realizará mediante la metodología descrita.

6.1. Alternativa 1

En lo que respecta al **criterio legal**, se deberá evaluar la afección a la hidrodinámica marina y a la estabilidad de las playas del entrono, para ello estudiamos los condicionantes ambientales y físicos más adelante.

Un aspecto muy importante será la resolución del dominio público marítimo-terrestre y las extensiones, mediante un proyecto básico que detalle las características de todas las actuaciones.

Por lo tanto, la valoración para esta alternativa según los condicionantes legales que tenemos, dado que es posible realizar todos los estudios, documentos y evaluaciones citadas y facilitarlas a las autoridades y administraciones pertinentes, a falta de su posterior o no aprobación es **BUENA**.

Desde el **punto de vista económico**, esta solución dismantelaría tanto la playa Norte, como el dique. Para después tener que volver a reconstruir gran parte del dique lo que implica muchos metros de construcción y ejecutar un relleno cerca de la bocana. También cabría citar que se eliminarían parte de las obras recientemente construida, en el año 2002, y aunque esto pueda suponer una ampliación, no ha pasado suficiente tiempo como para amortizar dichas obras. Deberíamos prolongar además el dique en su morro, paralelo a la costa. Esto conllevaría la necesidad de gran cantidad de medios constructivos, tanto para la demolición del dique y el dismantelamiento de la playa como para la posterior reconstrucción de los mismos y la ejecución del relleno y de los servicios que allí se encontrarían, aunque es cierto que se respetaría toda la parte sur del Puerto, en la que se encuentra la actual dársena más grande, la zona de varada y los edificios del Club Náutico y servicios, por lo que la valoración económica es **ADECUADO**.

Atendiendo al **criterio funcional**, como hemos apuntado en el aspecto económico, esta alternativa consigue crear una gran dársena, con una superficie más que suficiente para cubrir toda la demanda del puerto; pero separada de la otra y estaría alejada de la "zona noble" donde se encuentran los servicios y el club náutico, y a pesar de que se facilitaría una superficie terrestre en la zona interior del puerto para albergar una marina seca que consiga el almacenamiento en seco y una parte de los servicios, es más funcional que la estructuración de estos en el puerto sea óptima, y esto supone una facilidad de acceso y comunicación entre todos los servicios del puerto, pues es uno de los fines que se buscan en la consecución de este proyecto. Así que, concluimos que la valoración en este caso es **ADECUADA**.



Continuando ahora con el **criterio ambiental**, el desmantelamiento de la playa Norte. Esta es la playa de Terranova que conserva formaciones dunares y tiene gran valor medioambiental, puesto que están protegidas. Esto, junto a la reconstrucción del dique en esta zona significa una gran afección ambiental. En consecuencia, la valoración ambiental es **MUY MALA**.

El **criterio técnico** contempla en este caso el hecho de evitar la incidencia de temporales, a la vez que minimizarla. El actual dique consigue actuar de forma eficiente frente a este aspecto y el oleaje, que son más fuertes cuando proceden del levante. Por lo que conservar la alineación del actual dique y prolongar éste y el contradique para poder evitar que los aterramientos en la bocana causados por los temporales sería una solución **BUENA**.

Evaluando ahora, desde un punto de vista **estético**, esta solución conseguiría crear un nuevo dique más grande, que podría ser transitable creando un paseo para los usuarios, turistas y la población en general; aunque tendría un fuerte impacto. Conseguiéramos un puerto mucho mayor, con nuevos servicios e instalaciones, que sería estético pero, el hecho de que haya una separación entre espacios destinados para servicios, no acaba de ser del todo estético. La valoración es **BUENA**.

Por último, en el aspecto **físico**, hemos destacado que se deben respetar las playas tanto norte como sur del puerto. En este caso, la playa norte se vería muy afectada, desmantelando gran parte de ella, como ya citamos en el factor ambiental. La superficie total del puerto sería mucho mayor, ya que hemos reconstruido un gran dique que continua en el cambio de alineación con la antigua construcción pero que después se prolonga. La valoración en este sentido es **MALA**.

6.2. Alternativa 2

El **criterio legal**, será el mismo para las tres alternativas, puesto que como se comentó con anterioridad, será posible evaluar y entregar todos los estudios y documentos para la posterior autorización. A falta de esta, la valoración es **BUENA**.

Desde el **punto de vista económico**, esta solución eliminaría la "zona noble" al completo, incluyendo el edificio donde se encuentra el Club Náutico y todos sus servicios como la piscina y demás construcciones además de la balsa de decantación; toda la zona deberá dragarse para alojar la nueva dársena que da lugar a la ampliación. Esto supondrá un coste muy elevado. Todos los servicios se emplazarán al lugar que ocupa actualmente el contradique y el tacón que también será desmantelado. Aquí ejecutaremos la marina seca, y un muelle para albergar embarcaciones más grandes, con el consiguiente coste que supone volver a realizar el relleno y todas las construcciones y servicios. Además habría que sumarle el coste de construir un nuevo



contradique, que sería de mayor longitud y el coste de la prolongación del actual dique. Por lo que la valoración económica es **MALA**.

Atendiendo al **criterio funcional**, crearemos una dársena que, a continuación de la ya existente formaría una gran dársena donde albergar todas las embarcaciones, por lo que todas las embarcaciones se encontrarían juntas, situando las mayores en el lugar más cercano a la bocana posible. Todos los edificios, construcciones y servicios a excepción del área de varada se encontrarán juntos y junto a la gran dársena que se creará. Así que, concluimos que la valoración en este caso es **BUENA**.

Continuando ahora con el **criterio ambiental**, en este caso se respetaría la playa Norte. Los únicos cambios se crean al prolongar el dique y sobre todo al eliminar el contradique como la playa degradada que se encuentra junto a él, aunque cabe destacar que es una playa de escasa calidad. La demolición de todos los servicios, tanto edificios como la balsa de decantación también generan impacto. En consecuencia, la valoración ambiental es **ADECUADA**.

El **criterio técnico**, al igual que en la solución anterior pretende evitar incidencia de temporales, a la vez que minimizarla. El actual dique consigue actuar de forma eficiente frente a este aspecto y el oleaje, que son más fuertes cuando proceden del levante. Por lo que conservar la alineación del actual dique y prolongarlo, creando también un nuevo contradique donde se apoye la playa Sur conseguirá evitar que los aterramientos en la bocana y mantener calados. Sería una solución **BUENA**.

Evaluable ahora, desde un punto de vista **estético**, esta solución crea una integración total, pues se observa una única dársena mucho más grande bien comunicada con los servicios y la zona noble, en la cual habrían nuevos edificios mucho más modernos que los anteriores. Esta alternativa, al incorporar un nuevo dique, incluye una zona para tránsito de la población, formando parte del paseo. La valoración es **MUY BUENA**.

Por último, en el aspecto **físico**, la ampliación no afectaría en gran medida a la playa sur, pues la parte que se desmantelaría resulta degradada, y se seguiría respetando. La valoración en este sentido es **BUENA**.



6.3. Alternativa 3

El **criterio legal**, será el mismo para las tres alternativas, puesto que como se comentó con anterioridad, será posible evaluar y entregar todos los estudios y documentos para la posterior autorización. A falta de esta, la valoración es **BUENA**.

Atendiendo al criterio **económico**, dicha solución no elimina el espacio en el que se encuentra el Club Náutico y sus instalaciones, así como los servicios. Se procedería a crear una superficie marítima que formaría otra dársena en el lugar en donde se encuentra la playa sur degradada que se apoya en el contradique, desmantelándolo. Los mayores costes se producirían creando un nuevo contradique que parte perpendicular a la costa y que servirá de abrigo a la nueva dársena y la prolongación paralelo a la costa del actual dique, además de la construcción de la marina seca y aparcamientos en un nuevo espacio terrestre que se rellenaría a costa de un tramo pequeño de la playa sur. Es por tanto que valoramos esta opción como la más económica, que es **MUY BUENA**.

Desde el **criterio funcional**, el hecho de ejecutar una nueva dársena, permite que ésta se encuentre conectada, al igual que sucede con la dársena existente a la "zona noble" o de servicios en la que se encuentran las instalaciones del puerto, y los nuevos servicios como son la marina seca y los nuevos aparcamientos, quedando eso sí, alejada de la zona de varada que se mantendría donde siempre. Se ampliará y mejorará el muelle de recepción y el de combustibles. En la nueva dársena se atracarán los barcos de mayor eslora cerca de la bocana. Esta solución consigue optimizar el funcionamiento del puerto además de conseguir la ampliación busca. Así que, la valoración funcional es **MUY BUENA**.

El **criterio ambiental**, en este caso no se ve gravemente afectado, pues se elimina una superficie pequeña de una playa que se encuentra degradada, puesto que esta parte de la playa sur, que es la que se apoya en el contradique no es de especial calidad. La importancia de este aspecto vendrá por la afección a la dinámica litoral que puedan causar la eliminación y la posterior construcción de un nuevo contradique y la prolongación del ya existente dique. En principio a falta de estudios detallados más precisos, el efecto negativo no será grande. En consecuencia, la valoración ambiental es **BUENA**.

Siguiendo con el **criterio técnico**, al igual que en las otras soluciones se busca evitar la incidencia de temporales, a la vez que minimizarla. El actual dique consigue actuar de forma eficiente frente a este aspecto y el oleaje, que son más fuertes cuando proceden del levante. Conservar la alineación del dique actual prolongándolo para evitar aterramientos en la bocana y crear un nuevo contradique donde se apoya la playa sur, permitiría que técnicamente se consiga el objetivo buscado. Sería una solución **BUENA**.



Otro aspecto que consideramos es el **estético**, creamos un nuevo espacio marítimo separado del existente, pero comunicado directamente con la zona de servicios, con lo que desde esta zona se tendrá acceso a dos dársenas. Creando una integración buena. La ejecución de un nuevo contradique permite facilitar un paseo marítimo transitable por el que se accede a la nueva dársena. El hecho de no afectar en gran medida a las playas es un aspecto estético muy a tener en cuenta. La valoración es **BUENA**.

Por último, en el aspecto **físico**, la ampliación y las obras a realizar son las que menos superficie de terreno afectan a la hora de demoler, excavar o dragar. Exclusivamente se elimina una pequeña parte de la playa sur y el actual contradique. Por este motivo, la valoración es **MUY BUENA**.

6.4. Valoración final

A continuación, en la siguiente tabla se resumen las valoraciones de cada una de las alternativas que se han propuesto, dando un valor numérico según expusimos con anterioridad:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Criterio legal	4	4	4
Criterio económico	3	2	5
Criterio funcional	3	4	5
Criterio ambiental	1	3	4
Criterio técnico	4	4	4
Criterio estético	4	5	4
Criterio físico	2	4	5

Tabla 3. Valoración de cada alternativa

Como vemos, el **criterio legal** y el **técnico** son iguales mismo para las tres alternativas, BUENO. El primero debido a que en las tres podemos acceder y facilitar la información y documentos legales pertinentes; el segundo por el hecho de que en las tres alternativas se pretende prolongar el actual dique buscando disminuir aterramientos en la bocana y mantener calados.

La Alternativa 3 tiene mejor valoración en los criterios **económico, funcional, ambiental** y **físico**. Esto se debe, como ya analizamos en el anterior apartado al hecho de eliminar menos superficie de playa, edificios ni servicios además de conseguir conectar el nuevo espacio marítimo con la zona de servicios ya existente que se verá mejorada y ampliada.

Es en el criterio estético, donde predomina Alternativa 2 por el hecho de integrar una gran dársena que crea una imagen del puerto más armónica. Además ofrece la posibilidad de construir nuevos edificios de servicios y Club Náutico.



7. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Según las calificaciones que hemos realizado hemos creado la siguiente matriz multicriterio que permite realizar un buen análisis, reflejando la ponderación que tienen los criterios que valoramos anteriormente.

	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III
Criterio legal	40	40	40
Criterio económico	30	20	50
Criterio funcional	27	36	45
Criterio ambiental	8	24	32
Criterio técnico	28	28	28
Criterio estético	24	30	24
Criterio físico	10	20	25
Suma	167	198	244

Tabla 4. Elección de la alternativa escogida

Una vez analizadas todas las alternativas, como observamos en la *Tabla 4*, se concluye que la opción más adecuada es la **Alternativa 3**.

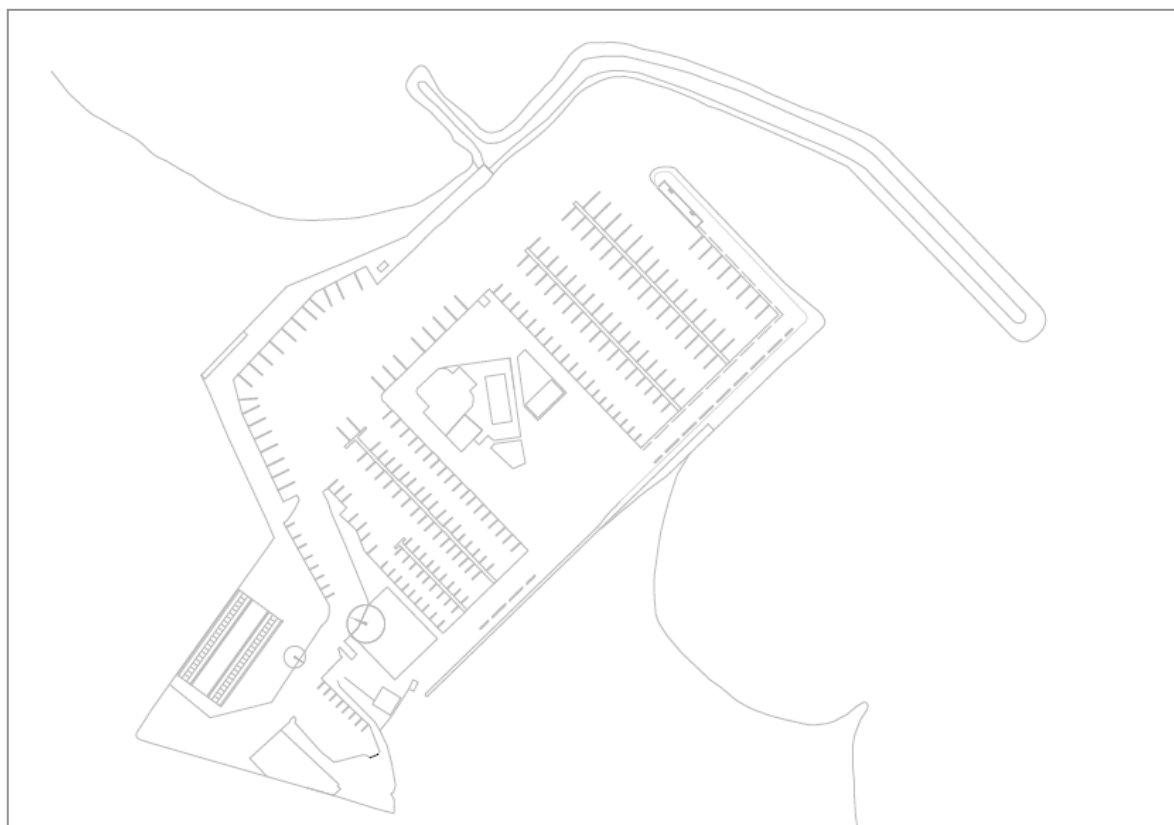


Figura 5. Solución escogida



8. DIMENSIONAMIENTO INTERNO

8.1. Estudio de superficies

8.1.1. Introducción

En el siguiente apartado se dimensiona la superficie portuaria, la marítima y la terrestre, considerando la demanda ya estudiada y las posibilidades de espacio que nos ofrece el puerto.

Para ello calcularemos el área a utilizar según el número de amarres que, como concluimos, ampliaremos hasta 599 amarres, es decir, sumaremos 254 amarres a los ya existentes, 184 en mar y 70 amarres en seco. Con estos amarres se calcularán las superficies mínimas, tanto marítimas como terrestres, las cuales compararemos con las actuales para determinar si existe la necesidad de aumentarlas.

8.1.2. Superficies actuales

Las superficies actuales en el Puerto de Oliva, según fuentes de la *Generalitat Valenciana* son:

- Áreas de evolución: $34.699 m^2$
- Superficie abrigada: $12.000 m^2$
- Superficie marítima: $46.699 m^2$
- Superficie terrestre: $30.023 m^2$
- Área de carenaje: $3.775 m^2$
- Zona de hibernaje: $391 m^2$
- Número de aparcamientos: 150
- Superficie de zona verde: $4.500 m^2$
- Edificio social: $800 m^2$
- Taller de reparaciones: $90 m^2$

8.1.3. Superficie marítima

La superficie marítima existente en el Puerto de Oliva es $46.699 m^2$, de los cuales $12.000 m^2$ corresponden al canal de acceso.

Para aproximar el área marítima a disponer, nos basamos en diversos métodos:

- Según la revista "*Obras marítimas*" de 1973, cuyo artículo "*Pantalanos para embarcaciones deportivas y de recreo*", fue publicado por Rafael Soler Gayá:



“Se toma, mediante unas tablas que relacionan ejemplos reales del número de plazas y la superficie ocupada por ellos, se puede obtener una proporción aproximada del número de amarres y el área, siendo ésta de por cada 100 amarres 1 Ha”.

Puesto que queremos ampliar los amarres en mar a 469 plazas, es necesario, según este método, una superficie mínima de 46.900 m².

- Según la Comisión Internacional para la Navegación Deportiva y de Recreo (PIANC):

Se adoptan como índices medios para calcular la superficie según el tamaño de los yates los siguientes valores:

- 130 m² para embarcaciones con capacidad para grandes yates.
- 80 m² para embarcaciones con capacidad para pequeños yates.

El puerto de Oliva albergará embarcaciones de 6, 8, 10, 12 de eslora y en menor número embarcaciones de 15 metros.

Para adaptar estos índices a nuestro tamaño de eslora tenemos en cuenta las definiciones de yates grandes, medianos y pequeños:

- Yate de Gran Porte: yate con una eslora igual o mayor de 24 metros y/o con un arqueado bruto de 50, el cual necesita disposiciones especiales y específicamente en lo relacionado con las inspecciones y niveles de exigencia.
- Yate de Medio Porte: es el yate con una eslora menor de 24 metros e igual o mayor de 6 metros.
- Yate de Pequeño Porte: es el yate con una eslora menor de 6 metros.

Observamos que contamos con un tamaño mediano de yate, por lo que tomamos una superficie aproximada de 100 m². Aplicándolo a nuestro caso, con 469 amarres tendremos una superficie total de ampliación de 46.900 m².

Por lo que este método nos determina la misma superficie que en el método anterior.

- Según el libro “Primer curso de análisis, planeamiento y gestión del medio litoral”:

En este libro aparece una fórmula para calcular la superficie ocupada en función de un coeficiente de uso de una dársena “K” que varía entre 2,7 y 3, la eslora media de la embarcación tipo del puerto “e”, la manga media de la embarcación tipo “m”, y el número de embarcaciones “n”.

$$S = K \times e \times m \times n$$

Escogeremos, un coeficiente de uso de 3, una eslora media de 10 m, una manga media de 3 metros y un total de 469 amarres.



$$S = 3 \times 10 \times 3 \times 469 = 42.210 \text{ m}^2$$

Por tanto, se toma como área marítima una superficie total de 4,69 Ha.

8.1.4. Superficie terrestre

La superficie terrestre es 30.023 m² que está repartida en diferentes áreas destinadas a varada, reparaciones, servicios y club náutico, aparcamientos, etc.

Dimensionamos la zona de servicios terrestre de forma que cumpla las normas dictadas por el *Reglamento de la Ley de Puertos Deportivos*, el cual fue actualizado en junio de 2014, pero este último no contempla los aspectos a considerar en cuanto a superficies, por lo tanto acudimos al Reglamento anterior, de 1980.

Este *Reglamento de la Ley de Puertos Deportivos*, publicado en BOE el 15 de Noviembre de 1980, especifica en su Artículo 8 que la superficie terrestre no deberá ser inferior al 50% de marítima. Por tanto, deberá ser superior a 23.450 m².

El Reglamento impone superficies mínimas según la funcionalidad de los servicios del puerto:

➤ ZONA DE VARADA (Art. 4.3):

La superficie de varada comprende tanto la espacio ocupado por la maquinaria y la zona de aparcamiento de esta, además, parte de esta superficie esta ocupada por la marina seca. El reglamento recomienda 7 m²/atraque, considerando en este caso el total de las embarcaciones del puerto. El área será de 4.193 m², para este uso.

➤ ZONA DE CARENA (Art. 4.4):

El Reglamento establece que debe disponerse de una explanada para reparaciones en seco comunicada con los medios de varada. Expone que la explanada para operaciones de mantenimiento y reparación en seco necesitará de 2 m²/atraque, es decir, para 599 atraques no será menor de 1.198 m². Para este proyecto tomaremos una superficie mínima de 1.200 m².

➤ ZONA DE LLEGADA O RECEPCIÓN (Art. 4.9):

Se dispone de un muelle de llegada de longitud de atraque mínima 30 metros y un ancho útil de 4 metros, con locales en sus proximidades para la administración del puerto y para las autoridades con jurisdicción sobre el puerto o sobre los barcos. Debe estar convenientemente señalizado. Escogeremos una superficie de 120 m².



➤ MUELLE PARA COMBUSTIBLES (Art. 4.10):

El suministro de carburantes (gasolina, gasóleo y mezcla) se dispone en un atraque especialmente dedicado a ello y de fácil comunicación con la boca del puerto. Deberá haber una zona mínima de 35 metros para que puedan repostar con espacio suficiente dos barcos de 15 metros, que son los de mayor eslora del puerto.

En este caso se toma una longitud de 35 metros teniendo en cuenta una media de 15 metros de eslora, y un ancho útil de 6 m. Obteniendo así una superficie total de 210 m². Los camiones y embarcaciones deberán tener un fácil acceso a esta superficie.

➤ EDIFICIOS DE SERVICIOS (Art. 5.1):

Están establecidos por Orden Ministerial. Esta zona no está sujeta a un mínimo, en ella se encuentra el edificio en el que se ubican el Club Náutico, la escuela de vela, la cafetería, el restaurante y los almacenes.

Hay que tener en cuenta que el club náutico, además dispone de piscina y locales deportivos para diversos usos: remo, gimnasio, vela, etc. El área destinada a la zona de servicios será de 4500 m².

➤ APARCAMIENTOS (Art. 5.2):

El Reglamento establece un mínimo de plazas para el 50% de los atraques, teniendo un total de 599 barcos, necesitaríamos de 300 plazas de aparcamiento. Actualmente se dispone de 60 plazas de aparcamiento en batería distribuidas a lo largo de los muelles, además se añaden 20 plazas junto la marina seca y 37 en el nuevo muelle. Se concluye que se requieren 183 plazas en una zona de aparcamiento situada en la explanada junto al edificio social.

Para aproximar un área por zona de aparcamiento, consideramos que las dimensiones de cada zona son 2,5 m x 5 m. Además se considera que los carriles de circulación interna son de ancho 4 metros. Por lo tanto, la superficie ocupada por cada aparcamiento es de: (5 m+2 m) x 2'5m = 17'5 m², lo que supone una superficie total de 3.202,5 m².

➤ MARINA SECA:

Concluimos en el estudio de la demanda de amarres que dispondremos de 130 embarcaciones en seco de 6 y 8 metros de eslora. Para albergar estas embarcaciones se dimensiona una marina seca, como bien puede observarse en el *"Anejo 17. Dimensionamiento de la marina seca"*. Por lo que será necesario albergar en el puerto de una construcción nueva, que no existía anteriormente, nos referimos a una marina seca.



Para diseñar la marina seca se deben considerar los valores mínimos establecidos para embarcaciones de 8 metros de eslora. Según la *normativa ROM* podemos obtener que la altura de apilado para estas embarcaciones es de 2,5 metros, limitando la altura de cornisa en 7,5 metros podemos establecer 3 alturas. De forma aproximada podemos determinar que la superficie para la marina seca será de 2.800 m².

De este modo, sumando los mínimos que hemos obtenido para cada superficie terrestre, obtendremos el total:

Zona	Superficie (m ²)
Varada	4.193
Carena	1.200
Llegada o recepción	120
Combustibles	210
Servicios	4.500
Aparcamientos	3.202,5
Marina seca	2.800
Total	16.225,5

Tabla 5. Suma de superficies terrestres

Para tener en cuenta muelles, viales y superficies no mencionadas anteriormente sumaremos a la superficie total la mitad de su valor. De este modo:

$$16.225,5 \times 1,5 = 24.338,25 \text{ m}$$

Comprobamos que esta superficie es superior a los 22.500 m² que establece el Reglamento como mínimo, por lo que adoptaremos este valor como superficie mínima terrestre.

Señalamos, que muchas de estas superficies son las mínimas marcadas por el Reglamento y que pueden superponerse, por lo que en el "*Anejo 10. Ordenación terrestre del puerto*", se explica con detalle la ordenación y las superficies de cada una de las zonas terrestres.



8.2. Comprobaciones

Como se ha analizado en el “*Anejo 8. Estudio de maniobrabilidad*”, es necesario realizar una serie de comprobaciones de la alternativa escogida para asegurarnos que se cumplen los requisitos mínimos.

8.2.1. Difracción

Para comprobar la difracción se utilizan los acabos de Weigel, de los que se obtiene un coeficiente reductor del oleaje, el cual se introduce en la siguiente expresión:

$$H_d = K_D \times H_s$$

La altura de ola difractada no deberá ser mayor que 0,50 metros.

Se ha utilizado el fenómeno de difracción para definir la longitud que se prolongará el dique, por lo tanto, en una primera aproximación se calcula la altura de ola difractada para un dique prolongado hasta la altura del contradique.

Para este caso, se obtiene un **radio** hasta el morro del contradique de **174,15 metros** con un **ángulo de 38°** respecto la alineación del dique. Para obtener el coeficiente reductor de la tabla de Wiegel se precisa conocer la longitud de onda del oleaje, la cual se ha obtenido en el “*Anejo 5. Clima marítimo y deriva litoral*”.

$$\frac{R}{L} = \frac{174,24m}{76,14m} = 2,30$$

Para esta relación y con el ángulo de 38° se obtiene un coeficiente **$K_D = 0,17$**

$$H_d = 0,17 \times 4,08 = \mathbf{0,69\ m} > 0,5\ m$$

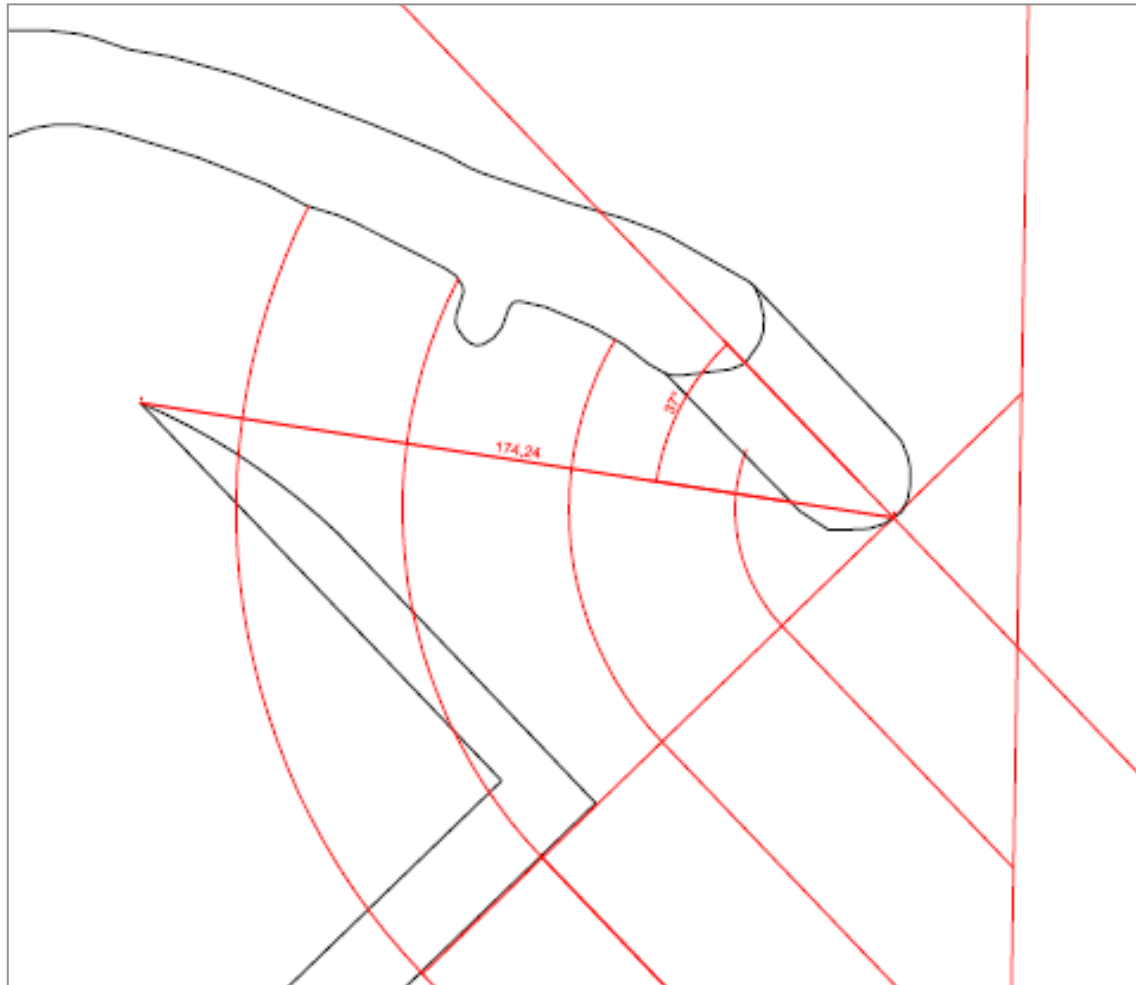


Figura 6. Difracción de la primera aproximación del dique



Se requiere alargar más el dique para reducir el coeficiente de reducción, por lo que se prolonga aproximadamente 150 metros desde la posición inicial obteniendo la siguiente difracción:

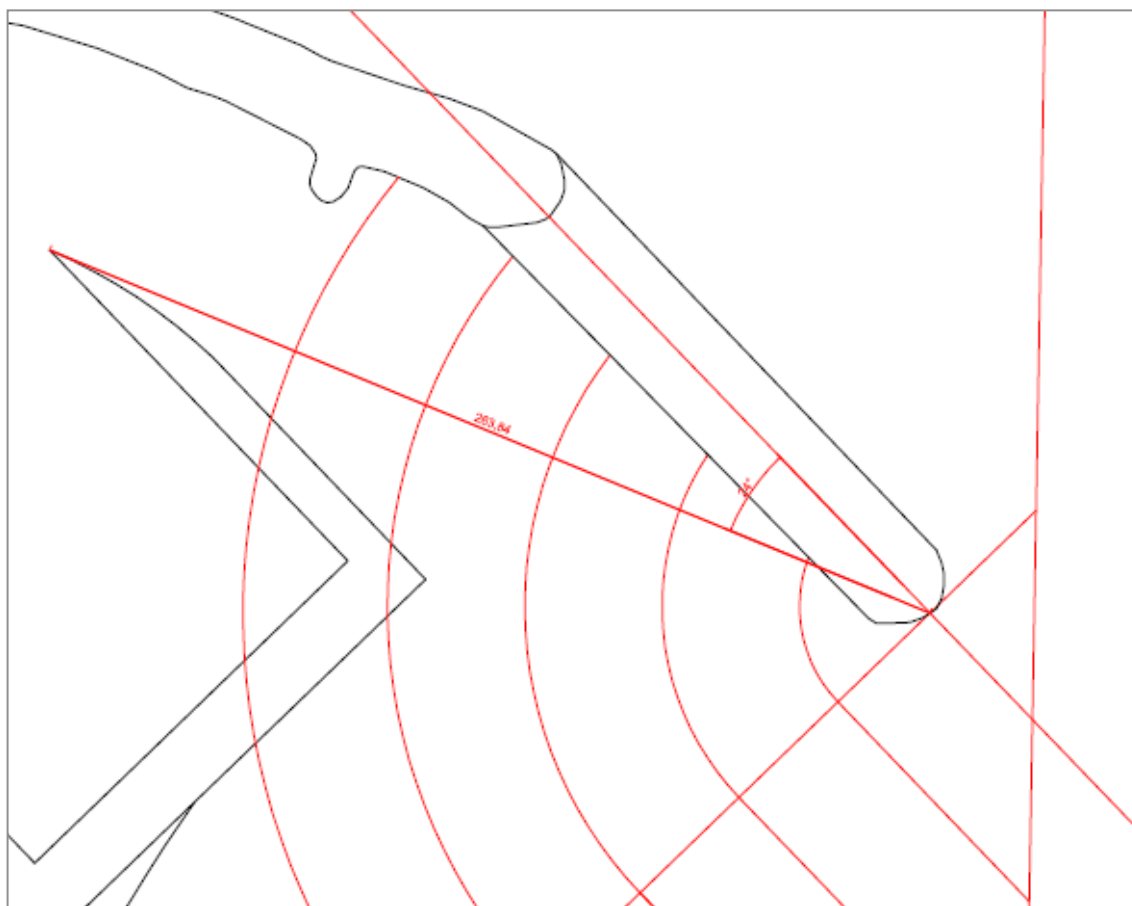


Figura 7. Difracción de la segunda aproximación del dique

En esta segunda aproximación se obtiene un **radio de 263,84 metros** y un **ángulo de 24°**, por lo se obtiene una relación:

$$\frac{R}{L} = \frac{263,84m}{76,14m} = 3,47$$

de la que se obtiene un coeficiente reductor de difracción **$K_D = 0,12$**

$$H_d = 0,12 \cdot 4,08 = \mathbf{0,48\ m} < 0,5\ m$$

Por lo tanto, para que el oleaje que penetra por el canal de navegación sea menor que 0,5 metros, el dique principal se debe prolongar aproximadamente 150 metros en alineación paralela a la línea de costa para que así el oleaje incidente sea perpendicular a la obra de abrigo.

8.2.2. Círculo de maniobra

Otra comprobación necesaria es la del círculo de maniobra, calculado en el “*Anejo 8. Estudio de maniobrabilidad*”. El **círculo de maniobra** se calcula para embarcaciones de baja maniobrabilidad y se ha obtenido que su **radio** es de **31,23 metros**.

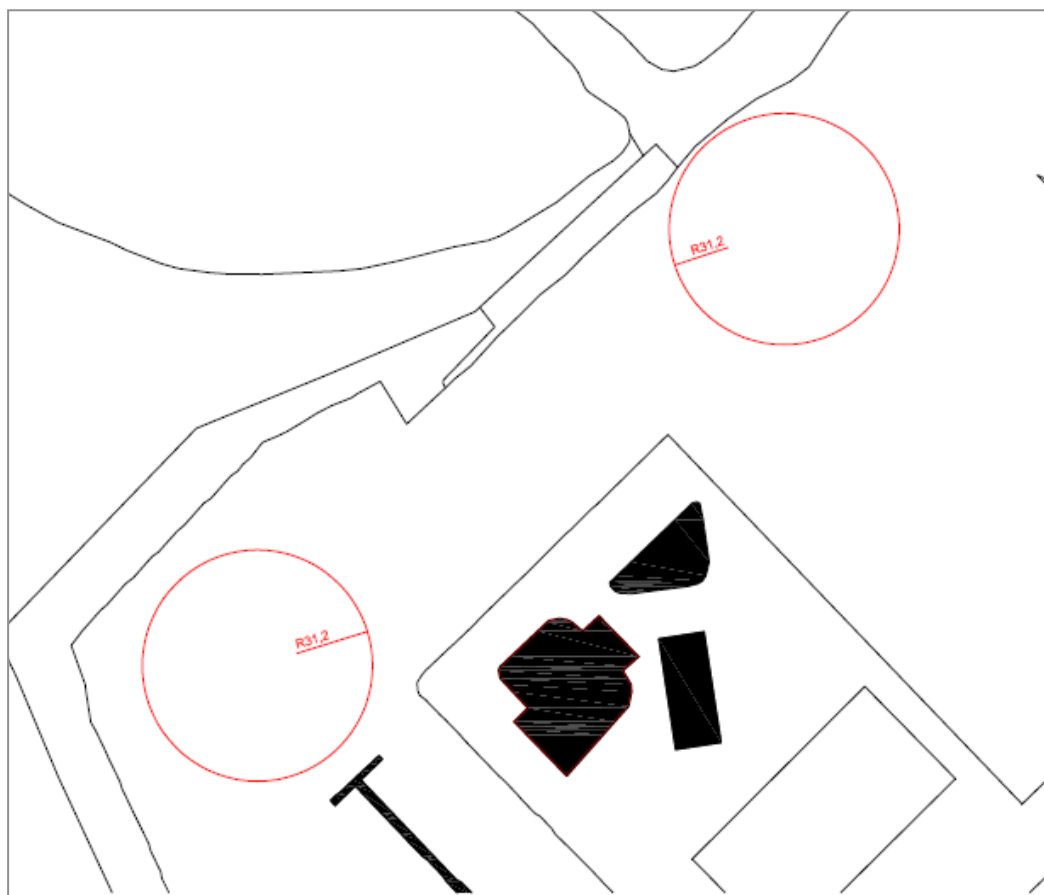


Figura 8. Círculos de maniobra en las dos dársenas existentes



8.2.3. Radio de acceso

Como se ha mencionado en el "*Anejo 8. Estudio de la maniobrabilidad*", se debe comprobar si se cumplen las condiciones necesarias para el acceso al puerto de forma segura. Para ello se plantea la hipótesis de aproximación al puerto con una derrota de 11° respecto a la dirección de mayor temporal y se establece un radio máximo de giro de 5 veces la eslora máxima (en este caso 15 metros).

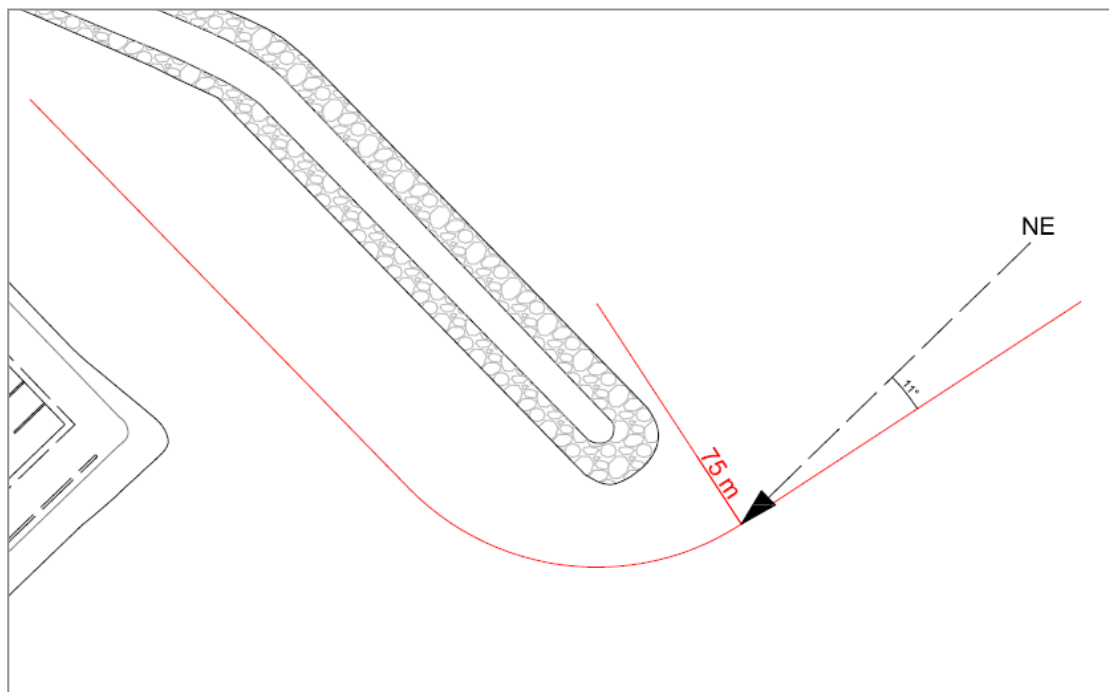


Figura 9. Ruta de acceso al puerto en periodo de temporal

Como se puede ver en la *figura 9*, la ruta de acceso cumple los mínimos establecidos sin comprometer la seguridad de la embarcación de mayor eslora. Por lo tanto, se concluye que la prolongación del dique prevista en 150 metros en dirección SE cumple todos los aspectos de seguridad establecidos en el "*Anejo 8. Estudio de la maniobrabilidad*".

GARCÍA IRANZO
Gonzalo

IBIZA PARRA
Miguel

MARTÍNEZ BAENAS
Abraham

PÉREZ GIL
Antonio

Valencia, Junio de 2015



ANEJO 9.2

ESTUDIO DE SOLUCIONES DE OBRAS DE ABRIGO



ÍNDICE GENERAL

1. OBJETO	39
2. TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS DE ABRIGO	40
2.1. DIQUES EN TALUD	40
2.1.1. TIPOLOGÍA DE DIQUES EN TALUD	42
2.1.2. ELEMENTOS DEL MANTO	43
2.1.3. OTROS ELEMENTOS DEL DIQUE	44
2.2. DIQUES VERTICALES	45
2.2.1. TIPOLOGÍA DE DIQUES VERTICALES	46
2.3. TIPOLOGÍAS A CONSIDERAR	48
3. ESTUDIO DE SOLUCIONES	49
3.1. CRITERIOS	49
3.2. COEFICIENTES DE PONDERACIÓN	50
3.3. VALORACIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS	51
3.3.1. ALTERNATIVA 1	51
3.3.2. ALTERNATIVA 2	52
3.3.3. ALTERNATIVA 3	53
3.3.4. ALTERNATIVA 4	53
3.4. VALORACIÓN FINAL	54
3.5. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	55



ÍNDICE IMÁGENES

1. Figura 1. Sección característica de un dique en talud	41
2. Figura 2. Ejemplos de las distintas tipologías de diques en talud	42
3. Figura 3. Sección característica de un dique vertical de cajones	46

ÍNDICE TABLAS

1. Tabla 1. Puntuación criterios	50
2. Tabla 2. Coeficientes de ponderación criterios	51
3. Tabla 3. Valoración numérica de las distintas alternativas	54
4. Tabla 4. Matriz multicriterio de las distintas alternativas	55



1. OBJETO

En el presente anejo se procede a la elección de la tipología de las obra de abrigo más adecuada para el Puerto Deportivo de Oliva. Para ello se describen varias alternativas posibles y se realiza un análisis de las mejores opciones para poder escoger la mejor opción. Las tipologías básicas con las que se trabaja son las de dique en talud y dique vertical, ambas bastante comunes en puertos del mar Mediterráneo.

Este anejo se fundamenta en los datos y condicionantes obtenidos en los anteriores documentos, principalmente en los anejos:

- *“Anejo 1. Antecedentes y estado actual”.*
- *“Anejo 9.1. Estudio de soluciones en planta”.*



2. TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS DE ABRIGO

La función principal de las obras de abrigo es la de impedir el paso del oleaje hacia dentro del puerto, asegurando una zona abrigada en la que podrán atracar y navegar de forma segura las embarcaciones. Por lo tanto, las obras de abrigo deben de asegurar que en el interior del puerto, el oleaje sea mínimo en las situaciones límite de temporales.

Existen varias tipologías de obras de abrigo que impiden el paso del oleaje de forma distinta. Los diques en talud rompen el oleaje sobre ellos y de esta forma impiden el paso de la energía del oleaje a las aguas abrigadas. Los diques verticales utilizan otro método, la reflexión del oleaje, en la que la mayor parte de la energía es reflejada por el obstáculo vertical que supone el dique.

A continuación se describen las dos tipologías expuestas de obra de abrigo:

2.1. Diques en talud

Los diques en talud se caracterizan por ser grandes estructuras de materiales granulares dispuestos en varias capas de distintas dimensiones. El dique en talud parte de una anchura en la coronación que va aumentando según el talud escogido hasta la zona de cimentación, esto significa que para grandes profundidades el dique en talud requiere una gran cantidad de materiales, por lo tanto el coste aumenta proporcionalmente con la profundidad de cimentación.

El dique en talud ofrece un gran variedad de soluciones ya que se puede variar en gran medida su geometría y composición. Algunas de las características que se pueden variar son: el número y espesor de las capas, los materiales que lo componen, la inclinación del talud, la disposición de espaldón o plataforma superior, la disposición de cuenco amortiguador, etc.

Las partes que componen un dique en talud son:

- **Núcleo:** se trata de la parte con más voluminosa de un dique en talud. Compone el interior de la estructura y sirve de cimiento para las demás capas, además tiene la función de filtro para reducir el paso del agua y con ella parte de la energía del oleaje. Durante el periodo de construcción, sirve de plataforma sobre la que avanzar si se escogen medios terrestres para la ejecución del dique.
- **Capas intermedias:** sirven de transición entre el núcleo y el manto principal. Su función principal es la de servir de filtro y aumentar la impermeabilidad. Es importante disponer una variación progresiva de los diámetros de los áridos que componen las distintas capas para evitar filtraciones y que se produzca un lavado del núcleo y de las distintas capas. Por lo tanto se deberá disponer el número suficiente de capas intermedias para que no se produzcan estos fenómenos.



- **Manto:** el manto es la parte del dique más exterior que está en contacto con el oleaje y por lo tanto la que resiste la acción de este. El peso unitario de los elementos que lo componen caracterizan las demás partes del dique y por lo tanto, se una parte fundamental en el dimensionamiento del dique. Suelen estar compuesto por escollera o por elementos artificiales de hormigón (bloques paralelepípedicos u otras piezas especiales).
- **Banqueta:** en algunos casos, para mejorar la calidad de la cimentación sobre la que se va a apoyar el dique se realizan banquetas de escollera.
- **Berma de pie:** la banquetta se sitúa en el pie del manto y sirve de apoyo para las distintas capas del dique. Impide el deslizamiento de las distintas capas y el lavado y socavación del pie del dique.
- **Espaldón:** el espaldón es una estructura, generalmente de hormigón, que se sitúa en la coronación del dique y sirve como protección frente oleaje.
- **Cuenca amortiguador:** el cuenco se sitúa entre el espaldón y la coronación del manto principal y tiene la función de absorber energía del oleaje para así poder reducir la altura del dique.

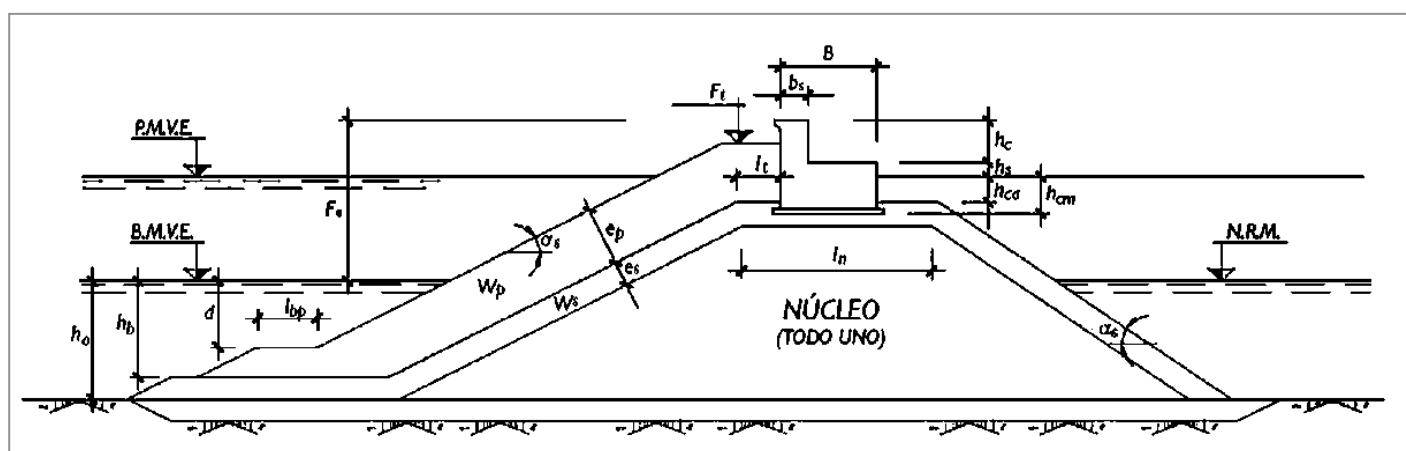


Figura 1. Sección característica de un dique en talud

2.1.1. Tipología de diques en talud

Existen infinitas secciones posibles en un dique en talud, la elección de una tipología concreta marca el comportamiento del dique a lo largo de su vida útil. Algunos ejemplos de distintas secciones de dique en talud se muestran a continuación:

- Dique berma.
- Rompeolas de escollera o de cubos.
- Diques de piezas artificiales.
- Dique monocapa (acrópodos).

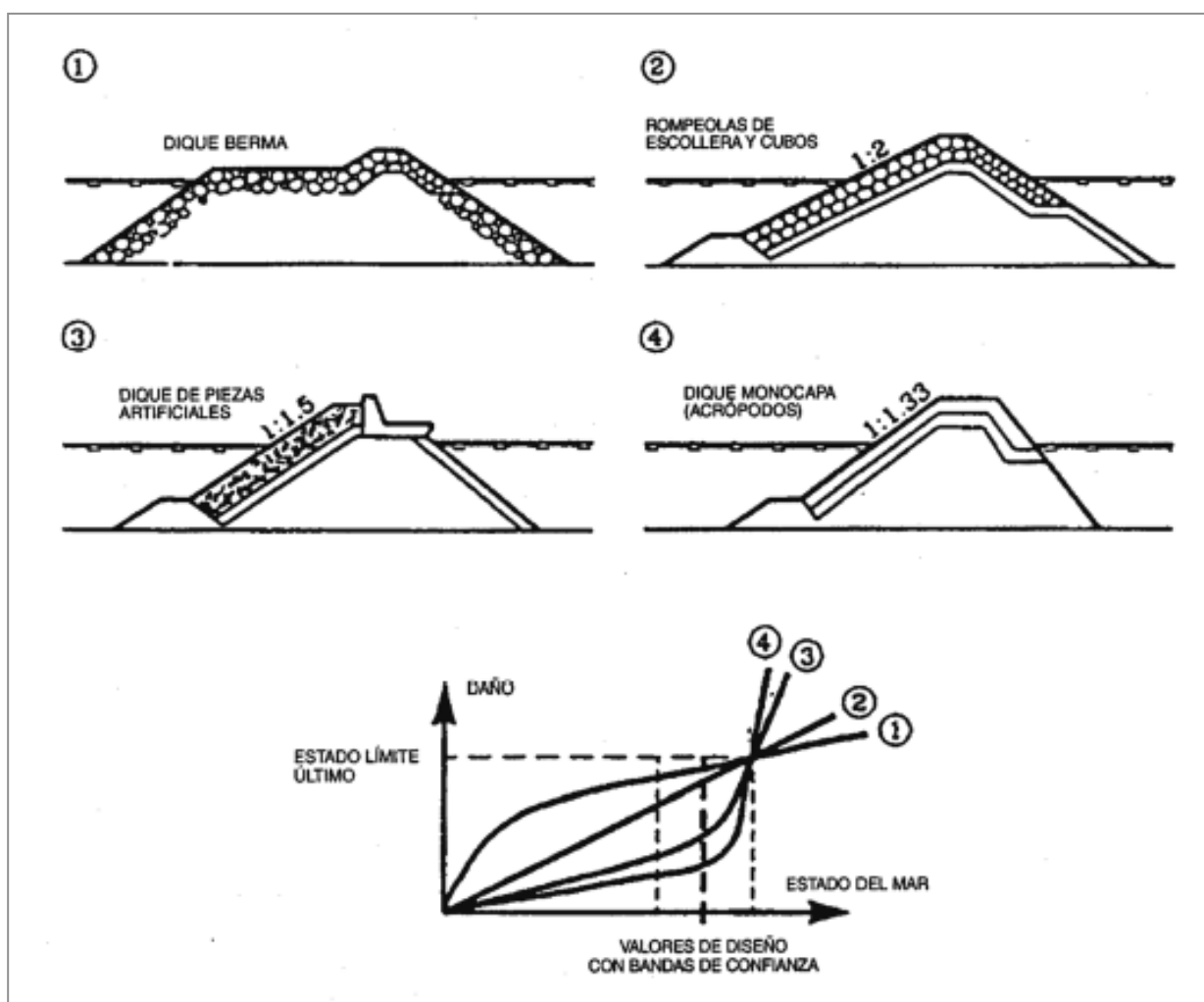


Figura 2. Ejemplos de las distintas tipologías de diques en talud



Como se puede ver en la grafica, el dique berma sufre más y se aproxima al estado limite en un menor tiempo pero el daño es más visible y por lo tanto más fácil de detectar el posible fallo del dique. En cambio, los diques de piezas artificiales y monocapa, que se comportan de forma similar, sufren menos daño durante los primeros años de su vida útil hasta que al aproximarse a su límite rompen. Esto es una desventaja ya que es difícil detectar cuando se está llegando al estado límite hasta que se está muy próximo a él, lo cual puede suponer grandes pérdidas. Los diques rompeolas (los más comunes) tienen un comportamiento equilibrado.

2.1.2. Elementos del manto

Como ya se ha mencionado anteriormente, el manto y los elementos que lo componen son una parte fundamental del dique. El material que lo compone, su forma o su disposición son características que determinan el comportamiento del dique y condicionan a las demás partes.

La función principal del manto es la de resistir el empuje del oleaje, y esto lo realiza mediante el peso propio de los elementos que lo componen y por el efecto de trabazón del conjunto del manto. Estos medios de resistencia varían con la tipología de los elementos que componen esta capa:

➤ TIPOLOGÍAS:

Existe un amplia gama de elementos que componen el manto principal y que tienen comportamientos diferentes. Los elementos artificiales con geometría especiales tienen una rugosidad y un efecto de trabazón mayor, lo cual nos permite utilizar elementos con menor peso unitario. Por otro lado, en la escollera natural el efecto trabazón depende directamente de la naturaleza de la roca, pero en todo caso es menor que en los elementos artificiales y por lo tanto se requiere elementos de mayor peso.

Algún ejemplo de estos elementos es:

- Escolleras.
- Seabee.
- Akmon.
- Tetrápodos.
- Dolo.
- Acrópodos.



➤ DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS:

La disposición de los elementos del manto también puede variar y esto afecta de forma directa la respuesta del dique frente al oleaje. Los diques en talud deben romper el oleaje y absorber el máximo de energía posible, esto se consigue con una gran rugosidad. Una baja rugosidad con una pendiente inadecuada puede suponer el remonte del oleaje y la avería del dique.

A los diques con los elementos dispuestos de forma premeditada se les llama diques concertados, estos pueden ser de muchos tipos:

- Bloques arrimados.
- Bloques semiarrimados.
- Bloques arrimados inclinados.
- Bloques escalonados a contrapendiente.

La opción de bloques arrimados inclinados es visualmente atractiva desde fuera del puerto, pero no absorbe la energía del oleaje correctamente ya que proporciona una rampa para que este remonte el dique. Por otro lado, los mantos con disposición de sus elementos en contrapendiente son muy eficientes a la hora de absorber la energía debido a su ángulo opuesto al remonte del oleaje.

La otra opción es la de dejar caer los elementos del manto de forma no ordenada, en este caso se llaman diques no concertados. Este es el caso del Puerto Deportivo de Oliva, en el que el manto dispuesto está compuesto por escollera no concertada de distintos pesos unitarios.

2.1.3. Otros elementos del dique

Existen otros elementos que pueden caracterizar el dique:

- **Berma:** Se pueden definir varias formas de bermas de pie y acabado bajo del agua. En aguas profundas se recomienda el uso de bermas de pie para reducir la profundidad del dique y así reducir el coste. En cambio, en aguas someras se recomienda que el manto se prolongue hasta el fondo acabando en berma o en prolongación recta.
- **Coronación:** existen varias formas de ejecutar la parte superior del dique: coronación sencilla, coronación con control del rebase, coronación con espaldón.



2.2. Diques verticales

Los diques verticales son estructuras de hormigón armado formados por elementos individuales de forma cubicas que se colocan juntos entre sí para dar continuidad al dique. Es común que el paramento de barlomar sea vertical, lo cual hace que el dique resista el empuje del oleaje mediante la reflexión de este. El cuerpo central suele apoyar en una banqueta de cimentación de material granular, en zonas de grandes profundidades la banqueta suele convertirse en un dique en talud sumergido. Es habitual coronar la estructural con un espaldón.

Esta tipología de dique se suelen emplear en zonas medianamente profundas ya que al ser obras de canto constante, suponen un ahorro de materiales y un coste menor frente los diques en talud. Otra ventaja es la posibilidad de utilizar la parte interior del dique vertical como muelle, lo cual es muy útil si nos encontramos con falta de espacio en el puerto. Además, en fase de construcción se obtiene una mayor rapidez de ejecución y mejor resultado frente al oleaje.

Las partes que componen un dique vertical tipo son:

- **Cajón:** estructura individual principal de hormigón con celdas huecas que aligeran la estructura. Estos huecos se rellenan de arena o incluso de hormigón una vez se encuentra fondeado el cajón en la posición deseada.
- **Bloques:** los bloques son otra forma de solucionar un dique vertical. Son elementos cúbicos de hormigón en masa que se colocan uno encima de otro hasta alcanzar la coronación deseada.
- **Bloque de guarda:** colocado en la base del cajón o bloque con el objetivo de evitar socavamientos en el pie del dique.
- **Banqueta:** cimentación del cajón que sirve para repartir las cargas que este transmite al terreno y/o para mejorar la cimentación.
- **Espaldón**
- **Losa:** acabado superior sobre el cajón o bloques sobre el que se puede circular.
- **Zanja:** es muy común dragar una zanja para cimentar el cajón sobre terreno adecuado.



2.2.1. Tipología de diques verticales

Las tipologías de diques verticales se pueden separar según la forma de cimentarlos:

➤ DIQUES CIMENTADOS SOBRE BANQUETA:

Los diques cimentados sobre banqueta son aquellos en los que se apoya la estructura principal directamente sobre un terreno granular debidamente preparado y enrasado. La solución de cajones flotantes es la más común en puertos de gran envergadura, mientras que la otra alternativa es la de dique de bloques.

El dique de cajones flotantes es muy característico de puertos comerciales de gran envergadura. Tiene el condicionante de que se requiere de instalaciones especializadas para la ejecución de los cajones, los cuales se deben de transportar por mar al emplazamiento final.

Los diques verticales de bloques son de ejecución más simple, ya que al tener los bloques menores dimensiones que los cajones, se pueden fabricar "in situ". Dichos bloques se disponen de forma escalonada, uno encima de otro, hasta alcanzar la cota de coronación requerida.

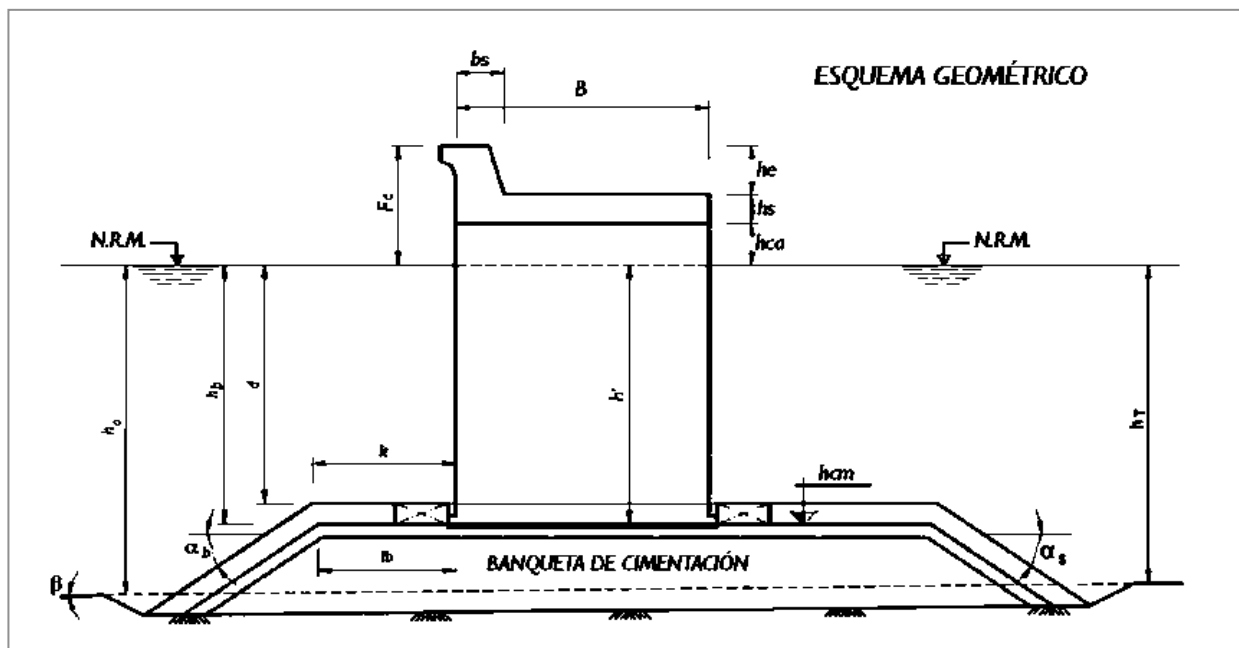


Figura 3. Sección característica de dique vertical de cajones



➤ DIQUES CIMENTADOS EN EL FONDO:

Esta tipología es menos común y no se suele usar en puertos del Mediterráneo. La característica común de estos diques es que se hormigonan en su posición final, es decir, dentro del agua. El encofrado del hormigón se podrá realizar de varias formas, se destaca el uso de cajones hincados en el fondo y el tablestacado de las dos caras del dique.

➤ DIQUES MIXTOS:

Cuando la cimentación del dique vertical alcanza una profundidad excesiva, la banqueta pasa a tener dimensiones mayores y se requiere de una disposición de los elementos distinta. Los diques mixtos están compuestos por una base de dique en talud y una parte (que es la que emerge) de dique vertical. Esto se da en zonas muy profundas donde ejecutar un dique en talud sería muy costoso debido a la gran cantidad de materiales necesarios y un dique vertical sería imposible debido a la altura que requeriría.



2.3. Tipologías a considerar

Una vez descritos los distintos tipos de diques que se pueden utilizar procedemos a realizar una criba de la que obtendremos las tipologías a valorar para posteriormente escoger la más adecuada para la ampliación del Puerto Deportivo de "La Goleta".

La tipología del dique actual es la más simple, se trata de un dique en talud con manto de escollera de peso unitario 6 toneladas en el dique y 3 toneladas en el contradique. El dique dispone de una pequeña plataforma superior de entre 5 y 8 metros sobre la que se puede transitar.

Como se prevé dismantelar parte del contradique actual, se considera que de realizar un dique en talud, sería mejor opción utilizar escollera como elemento principal del manto para así poder reutilizar la existente en el nuevo manto del contradique.

Los tipos de dique que valoraremos para escoger la mejor opción serán:

- **Alternativa 1:** Dique en talud con plataforma y manto prolongado hasta el fondo.
- **Alternativa 2:** Dique en talud con espaldón y plataforma.
- **Alternativa 3:** Dique vertical de cajones.
- **Alternativa 4:** Dique vertical de bloques.



3. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Para escoger la tipología de obra de abrigo realizamos un análisis multicriterio, esta metodología ya se ha utilizado para la elección de las alternativas en planta y por lo tanto se sigue el mismo procedimiento. Las distintas opciones ya se han descrito anteriormente en el apartado 2, seguido se describirán los criterios a considerar en la toma de decisiones.

3.1. Criterios

Los criterios que se van a considerar en la toma de decisiones son:

- **Concordancia con el estado actual:** se debe tener en cuenta el estado y la tipología actual de los diques y en el caso de prolongar alguno se debe considerar como afecta un cambio de tipología a su comportamiento.
- **Condicionantes constructivos:** considerar la facilidad de ejecución y procedimientos constructivos que se deben realizar para ejecutar las obras de abrigo y como la tipología escogida afecta a su ejecución.
- **Condicionantes económicos:** el tema económico es también un condicionante importante a la hora de diseñar y proyectar las obras de abrigo. Cada tipo tiene sus condicionantes económicos afectados mayoritariamente por los materiales con los que se ejecuta.
- **Accesibilidad de medios:** existen condicionantes a la hora de acceder a los medios necesarios para ejecutar ciertas tipologías de diques. Hay que considerar la facilidad de acceso a la maquinaria y a los materiales necesarios.
- **Condicionantes estéticos:** la estética es otro factor a considerar ya que al tratarse de un puerto deportivo situado entre playas turistas el impacto visual es importante.
- **Condicionantes estructurales y técnicos:** el funcionamiento estructural y por lo tanto la facilidad de cálculo y su comportamiento durante su vida útil deben ser algo a tener en cuenta a la hora de escoger un método.
- **Condicionantes funcionales:** también se debe considerar la funcionalidad de las distintas alternativas y como encajan con las necesidades descritas en anteriores anejos.



Cada criterio tendrá una puntuación entre 1-6 según la valoración subjetiva reflejada en la siguiente tabla (ya usada en otros anejos):

Valoración	Puntuación
Muy malo	1
Malo	2
Adecuado	3
Bueno	4
Muy bueno	5
Excelente	6

Tabla 1. Puntuación criterios

3.2. Coeficientes de ponderación

Para evaluar la importancia de un criterio frente a los demás se aplican unos coeficientes que ponderan de manera distinta cada criterio según la importancia que se decida de cada uno.

A continuación se establece una ponderación para criterio:

- **Concordancia con el estado actual:** la continuidad de una tipología es muy importante para evitar discontinuidades estructurales y visuales. **Coeficiente de ponderación: 10**
- **Condicionantes constructivos:** los condicionantes constructivos están directamente relacionados a otros criterios como a los estructurales, a la disponibilidad de medios o a los condicionantes económicos. Además supone una parte muy importante del proyecto y la totalidad de la fase de construcción, por lo tanto el **coeficiente de ponderación** para este criterio es **10**
- **Condicionantes económicos:** el coste de la realización de la obra de abrigo está muy relacionado con la tipología y es un aspecto a tener muy en cuenta ya que no se dispone de un presupuesto ilimitado. Considerar los aspectos económicos es clave para una buena elección. **Coeficiente de ponderación: 9**
- **Accesibilidad de medios:** es importante estudiar la accesibilidad de los medios, ya sea de materiales como pueden ser el cemento, los áridos o la escollera, así como de la maquinaria tanto terrestre como marítima si fuese necesaria. La lejanía o dificultad de disponer de medios para realizar un cierto tipo de muelles es un gran condicionante. **Coeficiente de ponderación: 8**



- **Condicionantes estéticos:** la estética debe tener un peso importante ya que se trata de un dique para puerto deportivo situado en zona turística. El impacto visual puede afectar al turismo de la zona y esto debe considerarse. **Coeficiente de ponderación: 6**
- **Condicionantes estructurales y técnicos:** los condicionantes estructuras de cada solución tienen un peso menor que los casos anteriores ya que todo calculo estructural se puede realizar con mayor o menor dificultad. **Coeficiente de ponderación: 5**
- **Condicionantes funcionales:** la funcionalidad del dique aparte de resistir el oleaje también debe ser considerado pero con menor peso ya que no es un aspecto principal en nuestra obra. **Coeficiente de ponderación: 4**

Criterio	Ponderación
Concordancia	10
Constructivo	10
Económico	9
Medios	8
Estético	6
Estructural	5
Funcional	4

Tabla 2. Coeficientes de ponderación criterios

3.3. Valoración de las tipologías

3.3.1. Alternativa 1

Esta alternativa es la misma que el tipo de dique actual, por lo que encaja a la perfección con las infraestructuras actuales. La valoración para esta alternativa según la **concordancia con la tipología actual** es **EXCELENTE**.

La construcción de este tipo de dique es la más simple de todas, consiste en realizar el núcleo de todo-uno que sirve de plataforma para trabajar, según se avanza con el núcleo se van disponiendo las distintas capas intermedias para protegerlo y seguido se dispone el manto de escollera. La simplicidad de este método radica en que no se requiere una colocación exacta de los elementos. Por lo tanto, para el criterio de **condicionantes constructivos** se le otorga una valoración **EXCELENTE**.

El **aspecto económico** es también muy favorable ya que nos encontramos en una zona poco profunda y por lo tanto, un dique en talud es siempre una buena opción, la valoración económica es **EXCELENTE**.



El **acceso a medios** para la ejecución es más complicado. La cantera más cercana se encuentra a unos 20 minutos y el transporte de la escollera resultaría costoso, aunque hay que considerar que se pueden reutilizar los componentes de los diques desmantelados. La facilidad de obtención de la maquinaria es bastante positiva ya que no hace falta la construcción por medios marítimos y se dispone de maquinaria para la ejecución terrestre. La valoración es **BUENA**.

La **estética** de este dique es positiva ya que no suele alcanzar una altura de coronación muy elevada y por lo tanto no supone un gran obstáculo visual. No tiene una línea limpia como otras obras de hormigón y por lo tanto la valoración es **BUENA**.

Los **aspectos estructurales** para diques en talud son muy básicos, el cálculo estructural y geotécnico es simple y no suele presentar complicaciones. Por lo tanto, la valoración estructural es **MUY BUENA**.

Finalmente, la **funcionalidad** del dique es la siguiente: cumple con su función de romper el oleaje y proporciona una plataforma básica de acceso al morro y a los faros situados en los morros, por lo tanto la valoración es **ADECUADA**.

3.3.2. Alternativa 2

Esta alternativa es muy similar a la anterior pero tiene la pequeña modificación de situar un espaldón en la parte superior, por lo que la **concordancia con la tipología actual** es **MUY BUENA**.

El **aspecto constructivo** tiene un poco más de complicación ya que se tiene que realizar el espaldón: valoración **BUENA**.

La parte **económica** será prácticamente similar a la de la anterior alternativa pero con el coste adicional del espaldón, por lo que la valoración económica es **BUENA**.

La **accesibilidad de medios** es la misma que en la alternativa anterior: **BUENA**.

Para los **condicionantes estéticos** hay que considerar que el espaldón puede suponer una barrera visual, por lo tanto la valoración es **MALA**.

Estructuralmente esta solución es idéntica que la Alternativa 1. Valoración **MUY BUENA**.

Respecto a la **funcionalidad** de esta solución hay que resaltar que la plataforma transitable permite el acceso peatonal a transeúntes y la posibilidad de situar un mirador en el dique. Por lo tanto la valoración es **MUY BUENA**.



3.3.3. Alternativa 3

La opción de ejecutar un dique vertical de cajones supone un cambio en la tipología y la necesidad de salvar puntos críticos en las uniones entre las distintas tipologías. Por lo tanto, la valoración para el criterio de **concordancia con la tipología actual** es **MALA**.

Las **condiciones constructivas** de un dique vertical de cajones son mucho más complejas que las de un dique en talud, es necesario un emplazamiento especializado para ejecutarlos y posteriormente transportarlos hasta su emplazamiento final lo cual complica mucho la operación. La valoración por lo tanto es **MUY MALA**.

La parte **económica** es similar, el hecho de tener que transportar los cajones desde otro lugar eleva el coste, por lo tanto la valoración es **MALA**.

La **accesibilidad a medios** esta limitada como ya se ha mencionado, y la fabricación debe realizarse en otro puerto. Valoración: **MALA**.

La **estética** del dique en cajón es positiva, aun suponiendo una barrera visual es atractivo a la vista. La valoración según los condicionantes estéticos es **ACEPTABLE**.

Los **condicionantes estructurales** son más complejos que los de un dique en talud, pero sin suponer un gran problema para el cálculo estructural, por lo tanto la valoración es **ACEPTABLE**.

Respecto a la **funcionalidad** podemos decir que cumple la función de proteger el puerto de forma desmesurada. Un aspecto positivo seria la superficie disponible para circular y la posibilidad de disponer amarres en la cara interior del dique. La valoración es pues **MUY BUENA**.

3.3.4. Alternativa 4

Un dique vertical de bloques también supone un cambio brusco de tipología que habría que tener muy en cuenta, por lo tanto la valoración para el criterio de **concordancia con la tipología actual** es **MALA**.

Las **condiciones constructivas** son más simples que la de un dique con cajones, los bloques se hormigonan fuera y una vez alcanzan la resistencia necesaria se disponen según se ha diseñado. Se requieren operaciones previas de preparación de la banqueta y enrasado que requieren mayor precisión, por lo que la valoración es **BUENA**.

Económicamente, esta solución no es muy desproporcionada, no supone un coste tan elevado como el dique vertical de cajones pero no es tan factible como un dique en talud simple. Por estas razones la valoración **económica** será **ACEPTABLE**.



Respecto a la **disponibilidad de medios** podemos decir que es bastante accesible y que el mayor condicionante es la disposición de una central de hormigonado. La valoración es pues **BUENA**.

Estéticamente esta opción es similar a la del dique vertical de cajones, supone un barrera pero no un impacto visual negativo, por lo tanto la valoración es **ACEPTABLE**.

Las **condiciones estructurales** son más simples que en la alternativa anterior ya que el cálculo estructural es mucho más simple: **BUENA**.

Para finalizar añadimos que **funcionalmente** un dique de bloques cumple con su función básica y además proporcionaría de un espacio amplio accesible y de la posibilidad de situar amarres en su cara interna. La valoración de la funcionalidad es **MUY BUENA**.

3.4. Valoración final

En la siguiente tabla se resumen las valoraciones expuestas anteriormente para cada criterio, dando u valor numérico según se ha explicado:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Concordancia	6	5	2	2
Constructivo	6	4	1	4
Económico	6	4	2	3
Accesibilidad a medios	4	4	2	4
Estético	4	2	3	3
Estructural	5	5	3	4
Funcional	3	3	5	5

Tabla 3. Valoración numérica de las distintas alternativas



3.5. Elección de la alternativa

Con las valoraciones que hemos otorgado a las alternativas según los distintos criterios podemos realizar una matriz multicriterio en la que se ponderan estos valores con los coeficientes de ponderación descritos anteriormente.

La matriz multicriterio obtenida es la siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Concordancia	60	50	20	20
Constructivo	60	40	10	40
Económico	54	36	18	27
Accesibilidad a medios	32	32	16	32
Estético	24	12	18	18
Estructural	25	25	15	20
Funcional	12	12	20	20
Suma	267	207	117	177

Tabla 4. Matriz multicriterio de las distintas alternativas

Como se puede ver en la *Tabla 4* la opción mejor valorada es la **Alternativa 1** que consiste en un **dique en talud simple con una plataforma superior transitable**. Partiendo de esta elección, en los siguientes anejos se procederá al dimensionamiento del dique en talud.

IBIZA PARRA
Miguel

Valencia, Junio de 2015



ANEJO 9.3

ESTUDIO DE SOLUCIONES DE MUELLES



ÍNDICE GENERAL

1. OBJETO	59
2. INTRODUCCIÓN	60
3. TIPOLOGÍAS DE MUELLES	61
3.1. OBRAS FIJAS CERRADAS. MUELLES DE CONTENCIÓN CON PARAMENTO VERTICAL	61
3.1.1. OBRAS DE GRAVEDAD	62
3.1.1.1. DE BLOQUES	62
3.1.1.2. DE CAJONES	64
3.1.1.3. DE HORMIGÓN SUMERGIDO	65
3.1.1.4. OTROS TIPOS	66
3.1.2. OBRAS DE PANTALLAS	68
3.1.2.1. TABLESTACAS	68
3.1.2.2. PANTALLAS DE HORMIGÓN	69
3.2. OBRAS FIJAS ABIERTAS. MUELLES PLATAFORMA	70
3.2.1. DE PILOTES	70
3.2.2. SOBRE PILAS	72
3.2.3. OTROS TIPOS	73
3.3. TIPOLOGÍAS A CONSIDERAR	73
4. ESTUDIO DE SOLUCIONES	75
4.1. CRITERIOS	75
4.2. COEFICIENTES DE PONDERACIÓN	76
5. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	78
5.1. ALTERNATIVA 1	78
5.2. ALTERNATIVA 2	79
5.3. VALORACIÓN FINAL	81
6. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	82



ÍNDICE IMÁGENES

1. Figura 1. Muelle de bloques. Sección tipo	63
2. Figura 2. Muelle de cajones. Sección tipo	65
3. Figura 3. Muelle de hormigón sumergido. Sección tipo	66
4. Figura 4. Muelle en “I”. Sección tipo	67
5. Figura 5. Muelle de pantallas. Sección tipo	70
6. Figura 6. Muelle de plataforma sobre pilotes. Sección tipo	72

ÍNDICE TABLAS

1. Tabla 1. Tipos de muelles	61
2. Tabla 2. Puntuación criterios	76
3. Tabla 3. Condicionantes de ponderación criterios	77
4. Tabla 4. Valoración numérica de las distintas alternativas	81
5. Tabla 5. Matriz multicriterio de las distintas alternativas	82



1. OBJETO

El presente anejo tiene como finalidad decidir cual es el tipo de muelle más adecuado para poder ser ejecutado en el Puerto Deportivo de Oliva.

En primer lugar, se expondrán todas las tipologías existentes de muelles que podemos encontrar en un puerto y se describirán cada una de ellas de manera detallada. A continuación, se procederá al análisis de cada una de las tipologías que se hayan considerado adecuadas para la ejecución de los muelles proyectados en la ampliación del puerto en cuestión, atendiendo a unos criterios que se expondrán a lo largo del desarrollo del presente anejo. Finalmente y tras al análisis anterior, se escogerá la mejor tipología de muelle para el Puerto Deportivo de Oliva y se justificará el porque de dicha decisión.



2. INTRODUCCIÓN

Como bien se indica en la *ROM 2.0-11 "Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre"*, el objetivo fundamental de una obra de atraque y amarre es proporcionar a los buques una condiciones adecuadas y seguras para su permanencia en puerto y/o para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias necesarias para las actividades de carga, descarga, estiba, desestiba y transbordo así como embarque y desembarque de pasajeros, vehículos y mercancías que permitan su transferencia entre buques o entre estos y tierra u otros medios de transporte.

En el caso de instalaciones náutico-deportivas, los muelles deben de tener como principales misiones, la de permitir el atraque directo de las embarcaciones, la de albergar elementos propios de la actividad náutica tales como, rampas de varada, grúas, pórticos, etc., y la de servir como elemento de partida para pantalanés, tanto fijos como flotantes. Los muelles conforman una línea de atraque continua y están conectados con tierra total o parcialmente mediante rellenos a lo largo de la parte posterior de los mismos, lo que da lugar a la creación de explanadas traseras adosadas.



3. TIPOLOGÍAS DE MUELLES

Existen varios tipos de clasificaciones a la hora de organizar las distintas tipologías de muelle. Estas clasificaciones varían en función de las características que se estudien en cada una de ellas. Así, los muelles pueden clasificarse de diversas maneras, las más destacadas y usuales están en función de:

- **Método de construcción:** *prefabricado o in situ.*
- **Afección a la lámina de agua:** *abiertos o cerrados.*
- **Posición:** *fijos o flotantes.*
- **Modelo estructural:** *gravedad, pantallas o pilotes.*
- **Materiales:** *hormigón, mampostería, etc.*

La *ROM 2.0-11*, mencionada anteriormente, realiza una clasificación general combinada en función del tipo de afección a la lámina de agua y de su posición, para dentro de ésta clasificar los distintos muelles en función del modelo estructural que defina su comportamiento. De esta manera, la clasificación de los muelles según la *ROM 2.0-11* en función de la tipología estructural de sus partes sería de la siguiente forma:

Obras fijas cerradas	De gravedad	Bloques
		Cajones
		Hormigón sumergido
		Otros tipos: en L, entramados, etc.
	De pantallas	Tablestacas
		Pantallas de hormigón
Obras fijas abiertas	Pilotes	
	Sobre pilas	
	Otros tipos	

Tabla 1. Tipos de muelles. Fuente: ROM 2.0-11

Basándonos en la tabla anterior a continuación nombraremos las distintas tipologías de muelle que a priori si podrían tener cabida en nuestro proyecto, las describiremos y atendiendo a lo descrito, haremos una criba para reducir así de manera sistemática el análisis posterior.

3.1. Obras fijas cerradas. Muelles de contención con paramento vertical

Las obras fijas masivas o cerradas son aquéllas en las que la parte estructural conforma un paramento continuo vertical de la línea de atraque desde la superestructura a la cimentación.



Como hemos visto en la *Tabla 1*, en función de la forma en que la estructura resiste las acciones y las trasmite al terreno de cimentación, los muelles pueden clasificarse en obras de gravedad u obras de pantallas.

3.1.1. Obras de gravedad

En las obras de gravedad, la estructura resiste las acciones debidas a las cargas de uso y explotación y, en su caso, al relleno del trasdós, mediante su propio peso, transmitiéndolas al cimiento normalmente a través de una banqueta de cimentación de escollera, todo uno u otro material granular.

Debido al modo de su funcionamiento resistente, la concepción de este tipo de obras exige disponer tanto de pesos importantes como de superficie considerable en la cimentación que permitan la movilización de una mayor resistencia por rozamiento en le contacto estructura-cimiento para aumentar la resistencia al deslizamiento, reducir las presiones de contacto sobre el terreno para aumentar la resistencia al hundimiento y centrar el punto de aplicación de la resultante de las acciones para aumentar la resistencia al vuelco. Por estas razones, este tipo de estructuras requiere suelos de cimentación de elevada capacidad portante, localizados en niveles accesibles. Estos suelos pueden ser tanto naturales como mejorados o procedentes de una sustitución.

En función de las características de la estructura, se dividen en obras de gravedad de bloques, de cajones, de hormigón sumergido u otros tipos.

3.1.1.1. De bloques

La estructura resistente está formada por bloques de materiales pétreos o prefabricados de hormigón. Los bloques pueden ser macizos o huecos, rellenándose posteriormente con un material de préstamo granular o con hormigón. En general son paralelepípedicos, aunque a veces se construyen con planos inclinados o achaflanados en las caras de trasdós o intradós, con el objeto de reducir las presiones, o de centrar la resultante. Debido a los condicionantes impuestos por el proceso constructivo, los pesos de los bloques prefabricados suelen ser los máximos que permitan los medios disponibles para su puesta en obra, aunque son usuales pesos comprendidos entre 150 y 2.000 KN.

La capacidad resistente radica en la movilización del rozamiento entre bloques, los cuales pueden o no estar solidarizados entre sí.

Una sección tipo de esta obra de atraque se recoge en la *Figura 1*. La geometría de la sección puede ser muy variada, pero en general puede asimilarse a formas rectangulares o trapezoidales



en las que la base es del orden del 50 al 80% de la altura. Para bloques intermedios, apoyados en otro bloque inferior, la relación base/altura anterior suele estar alrededor del 50% por razones de estabilidad. La anchura de coronación depende de la altura de la superestructura y de los elementos auxiliares a disponer sobre ella; los valores más usuales oscilan entre 1 y 4 m.

El paramento de atraque es generalmente vertical, aunque la presencia de la defensa permite avanzar la base del muro entre 0,5 y 1,0 m, inclinando ligeramente el paramento o haciendo sobresalir el bloque inferior. Esta disposición mejora la resistencia al vuelco y al hundimiento, al centrar el punto de aplicación de la resultante sobre la base de la cimentación.

En el caso de que se disponga un relleno, el paramento del trasdós puede ser vertical, inclinado o escalonado. Los escalonados en el sentido de reducción de la anchura aprovechan el peso del trasdós sobre el escalón y por lo tanto reducen el volumen de hormigón. A veces, y principalmente por razones constructivas, el bloque de la segunda hilada inferior es el mismo de la base colocado del revés, como en la *Figura 1*, lo que favorece el aprovechamiento del peso del relleno y el centrado de la resultante. Esta tipología estructural suele ser adecuada para alturas desde coronación a cimientos inferiores a 15 m o en obras de pequeña longitud por requerir menor inversión inicial.

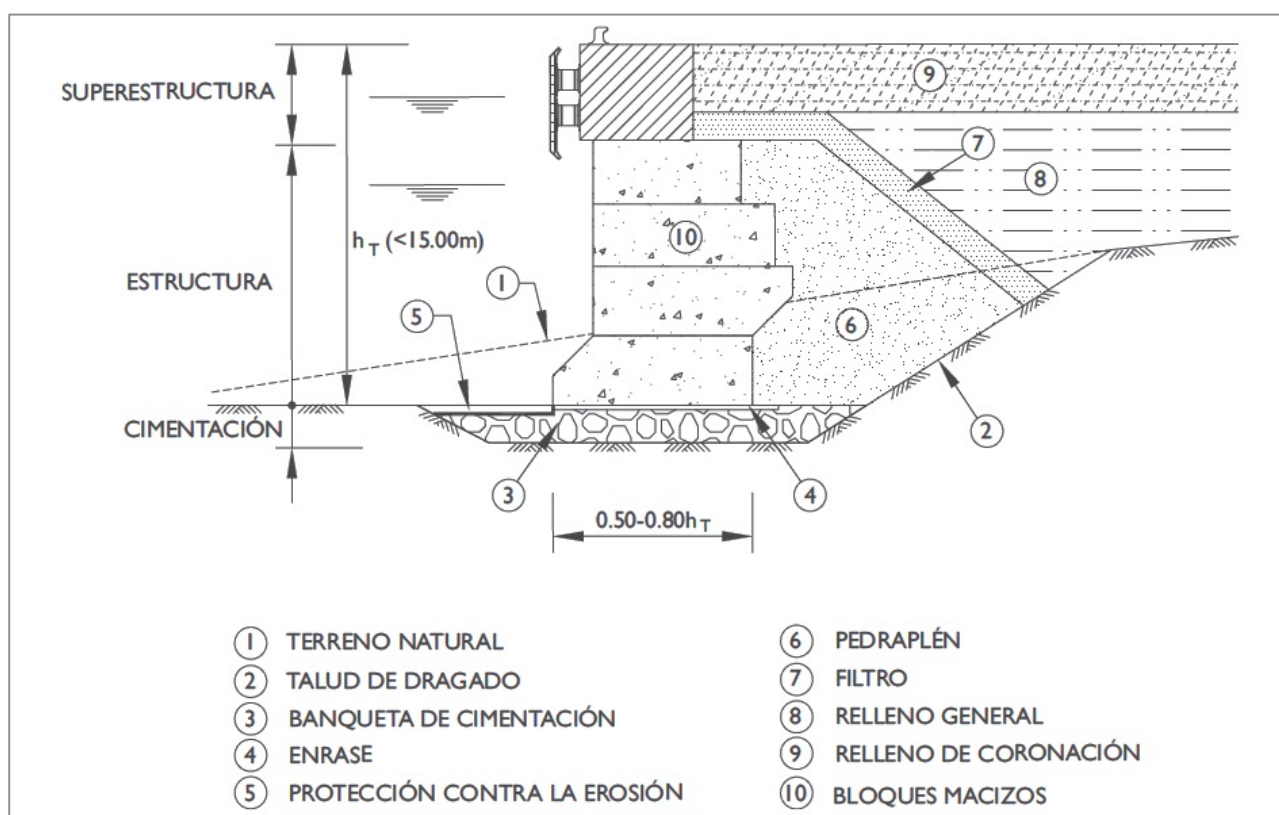


Figura 1. Muelle de bloques. Sección tipo



3.1.1.2. De cajones

La estructura resistente está formada por cajones prefabricados que habitualmente son de hormigón armado (pudiendo ser alternativamente de hormigón pretensado, metálicos o mixtos), aligerados por celdas, contruidos en seco o en diques flotantes y posteriormente remolcados, fondeados y rellenados con agua, material granular o con hormigón pobre.

Los cajones flotantes pueden ser de diferentes formas y tamaños tanto en planta como en alzado, dependiendo de las condiciones y posibilidades constructivas locales. Las plantas y alzados rectangulares son los más usuales. En general, están contruidos por la solera, el fuste, con celdas normalmente rectangulares, cuadradas o circulares en toda su altura, y las zapatas o zonas voladas de la solera con respecto al fuste.

Una sección tipo de esta obra de atraque se recoge en la *Figura 2*.

La anchura del fuste del cajón o manga viene fundamentalmente determinada por la capacidad resistente y la estabilidad necesaria de la obra de atraque, aunque también por la estabilidad naval del cajón o por condiciones operativas, como el caso en que se necesita recoger con el cajón la pata trasera de la grúa. Aumentando esta dimensión o rellenando únicamente las filas de celdas más cercanas al trasdós es posible reducir las presiones de contacto con el terreno. Para muelles, por razones de estabilidad, son usuales valores entre el 60% y el 80% de la altura, y no mayores de 25 m, aunque hay cajoneros capaces de fabricar cajones de más de 32 m de manga. La altura del fuste para el calado de proyecto viene determinada por condiciones y posibilidades constructivas y de estabilidad naval, considerando una cota de coronación que permita condiciones de trabajo aceptables tanto en el relleno de sus celdas como en la construcción de la superestructura. En España se han alcanzado alturas de hasta 38 m. En cuanto a la longitud del cajón depende también principalmente de las condiciones y posibilidades constructivas disponibles. Las dimensiones más usuales oscilan entre 25 y 40 m. En España se han alcanzado esloras de hasta 66 m.

Otras características dimensionales generales de la sección son:

- Espesor de la solera y la zapata: 0,40-1,00 m
- Vuelo de las zapatas: 0,50-1,50 m
- Diámetro de celdas circulares: 2,50-3,50 m
- Lado de celdas rectangulares: 3,50-4,50 m
- Espesor de las paredes exteriores de celdas circulares: 0,20-0,40 m
- Espesor de las paredes exteriores de celdas rectangulares: 0,25-0,50 m

- Espesor de las paredes interiores de celdas circulares en el punto de tangencia: $0,15-0,25\text{ m}$
- Espesor de las paredes interiores de celdas rectangulares: $0,20-0,30\text{ m}$

Esta tipología estructural tiene un amplio rango de aplicación, siendo particularmente indicada desde calados de 10 m a calados muy superiores a los 20 m.

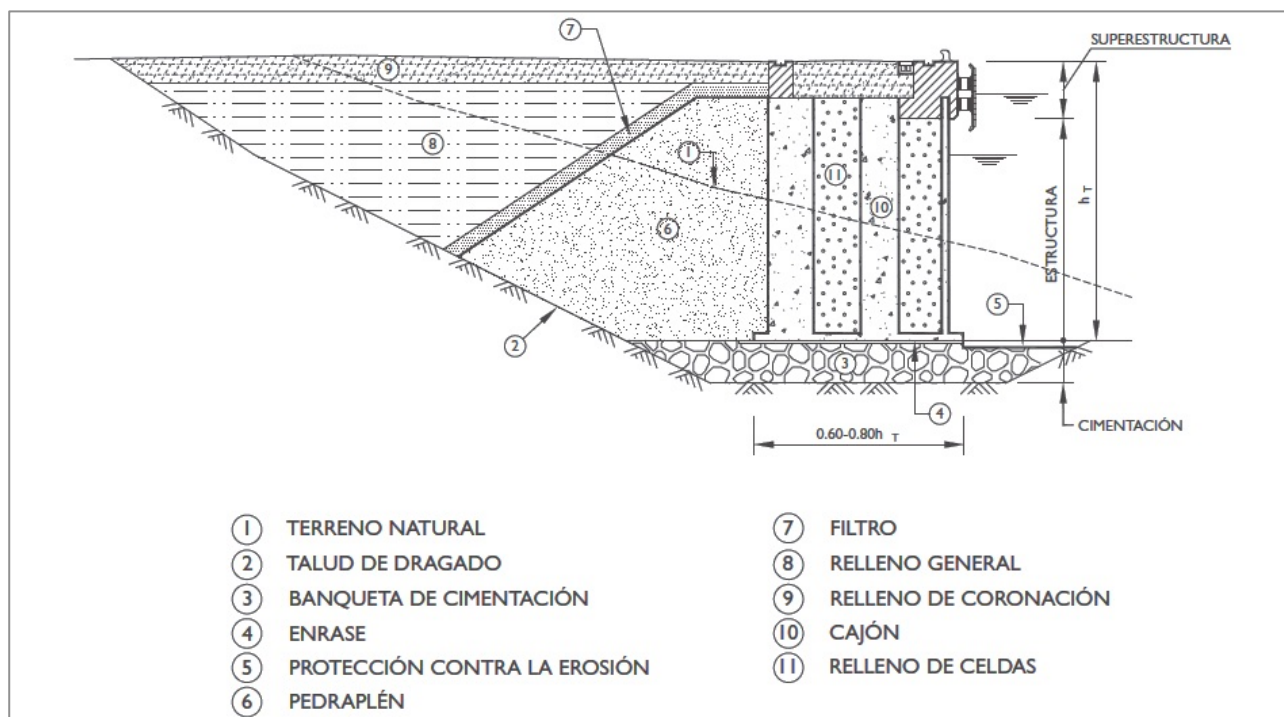


Figura 2. Muelle de cajones. Sección tipo

3.1.1.3. De hormigón sumergido

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.

Normalmente, las dificultades planteadas por el encofrado obligan a adoptar secciones rectangulares con escasos resaltos o escalones, como podemos observar en la *Figura 3*. 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 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.

Como en el caso de las obras de bloques de hormigón, esta tipología estructural suele ser adecuada para alturas desde coronación a cimientos inferiores a 15 m o en obras de pequeña longitud por requerir menor inversión inicial. La relación anchura de la base/altura total se sitúa también entre 0.50 y 0.80 m.

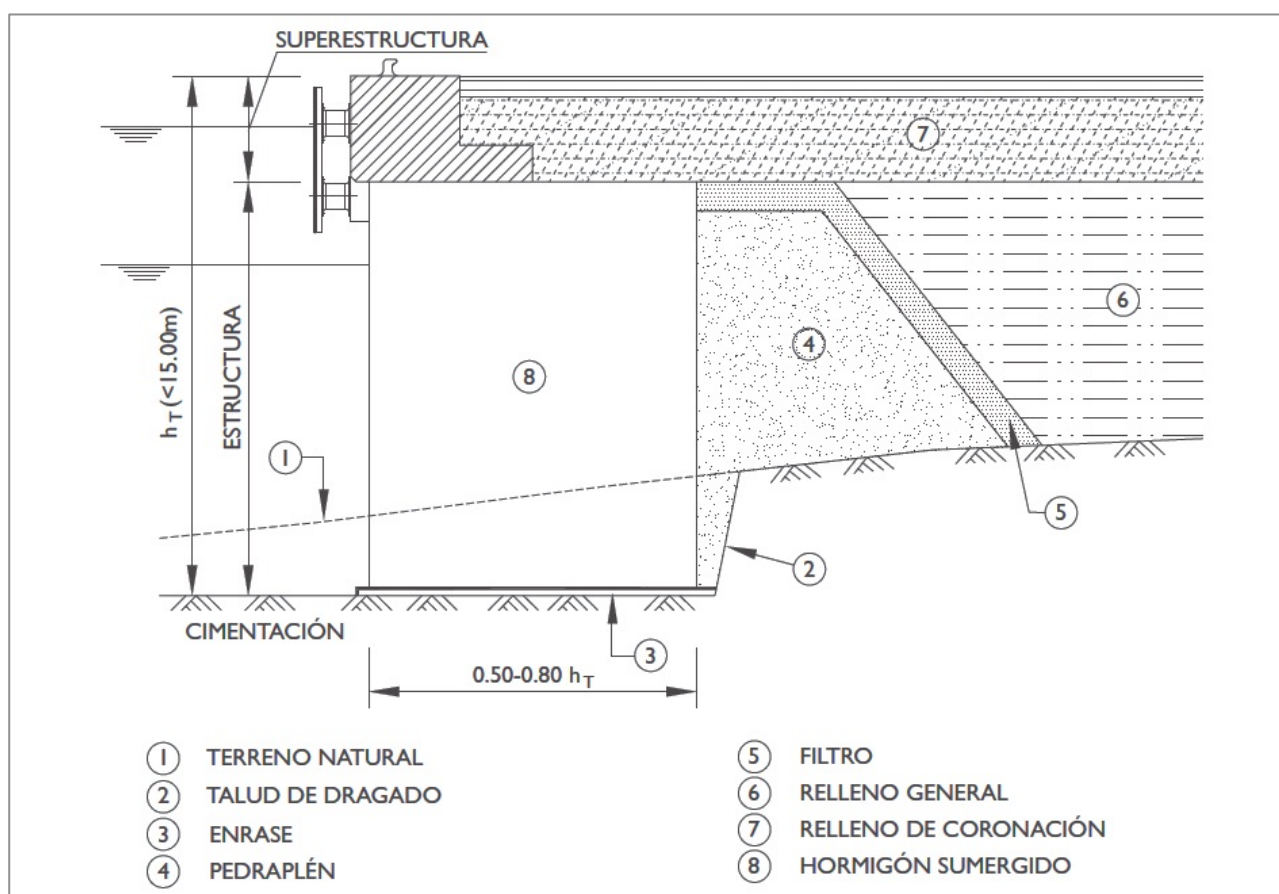


Figura 3. Muelle de hormigón sumergido. Sección tipo

3.1.1.4. Otros tipos

Dentro de esta tipología pueden citarse los cajones parcialmente sin solera, aunque no son muy utilizados. Estos mejoran la resistencia al deslizamiento en el contacto estructura-cimiento, aunque producen mayores presiones sobre el terreno de cimentación. En este caso pueden tratarse como recintos. Cuando existan terrenos muy poco competentes en las capas superiores, con espesores moderados sobre el terreno firme, este tipo de cajones puede hincarse, evitando las banquetas de cimentación y reduciendo los dragados necesarios (cajones indios).



Aunque no son muy utilizadas en España, existen otros tipos de obras de gravedad en las que la estructura resistente está formada por elementos en “L”, entramados y otras disposiciones constructivas. El funcionamiento resistente de las estructuras en “L” es similar a los muros de contención clásicos. A su vez, el funcionamiento y las características dimensionales generales son comparables con las de las obras de cajones, en las que se carece de pared de trasdós. En este caso, garantizar el mantenimiento en el tiempo del relleno del trasdós sobre la solera es clave para la estabilidad de la obra. Los elementos en “L” suelen construirse “in situ”, en seco o más comúnmente ser prefabricados, con alturas pequeñas de hasta 7 m. No obstante, con contrafuertes se han alcanzado alturas hasta 20 m. Su longitud varía entre 3 y 12 m, dependiendo de la disponibilidad local de los equipos de puesta en obra. Una sección tipo de esta obra de atraque se recoge en la *Figura 4*.

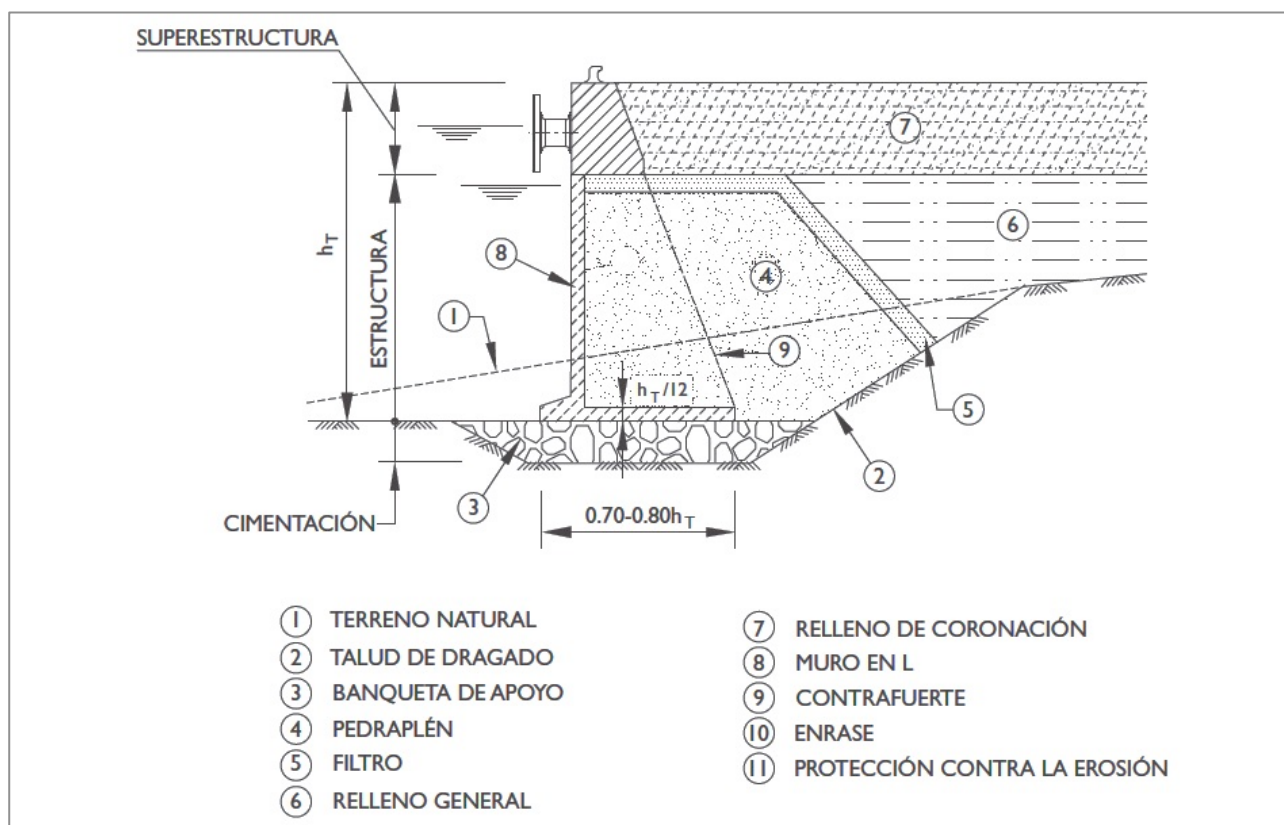


Figura 4. Muelle en "L". Sección tipo



3.1.2. Obras de pantallas

En las obras de pantallas, la estructura transmite las acciones horizontales debidas al terreno y a la totalidad o a parte de las cargas de uso y explotación, mediante su empotramiento o apoyo en el terreno de cimentación y la disposición de anclajes en el trasdós, lo que permite el equilibrio de los empujes generados por el terreno de cimentación y por el relleno a ambos lados de la pantalla, combinados con la acción (o reacción) de los anclajes.

La capacidad resistente de la estructura radica fundamentalmente en su capacidad de resistir los esfuerzos de flexión y cortante que se generan a lo largo de la misma.

Esta tipología está especialmente indicada en terrenos arenosos y limosos, se puede utilizar en terrenos cohesivos blandos y está contraindicada cuando el terreno está constituido por roca dura que impida la hinca o en terrenos arenosos con bolos que impidan alcanzar los empotramientos necesarios.

La estructura resistente está constituida únicamente por una pantalla vertical o ligeramente inclinada, y por uno o varios anclajes que contribuyen a aumentar su rigidez y colaboran en su capacidad resistente.

La pantalla puede estar formada por tablestacas metálicas hincadas o por hormigón armado realizado “in situ”

3.1.2.1. Tablestacas

Las pantallas de tablestacas metálicas suelen estar formadas por perfiles simples en “U”, en “Z” o compuestos por elementos de mayor inercia (perfiles laminados en H, tubos metálicos,...) entre los que se intercalan tablestacas. La acción de los anclajes suele transmitirse a una viga de reparto que, en el caso de las pantallas de tablestacas, es habitualmente metálica y cuya misión es transmitir la fuerza de anclaje a las tablestacas individuales.

El sistema de anclaje suele ser pasivo, pudiendo consistir en barras o cables de acero unidos debidamente a la pantalla y a una estructura trasera de anclaje que puede consistir en otra pantalla más corta, en un “muerto” de hormigón, o en una placa vertical, horizontal ó inclinada. El muerto o la placa pueden estar simplemente apoyados en el terreno o cimentados sobre pilotes que proporcionan mayor capacidad de reacción.

Para desarrollar el anclaje pasivo se necesita una anchura de casi el 150% de la altura libre de la tablestaca. Los anclajes pasivos deben estar posicionados por encima del nivel medio del mar y dimensionados para evitar flexiones por los asientos del terreno. No obstante lo anterior, el sistema de anclaje también puede ser activo. En este caso suele estar formado por cables de



pretensado, barras de acero o micropilotes alojados en perforaciones y unidos en su parte final al terreno mediante bulbos inyectados de mortero o lechadas de cemento.

La superestructura está constituida por una viga de hormigón en cabeza capaz de repartir las acciones horizontales de uso y explotación que actúan en coronación a lo largo de una cierta longitud de la obra. No suele tener excesiva capacidad para resistir acciones verticales importantes, salvo que se dispongan elementos de transmisión de cargas de la superestructura a las tablestacas.

Generalmente esta tipología estructural suele ser adecuada para alturas libres alrededor de 10 m, aunque se pueden alcanzar hasta 20 m con tablestacas simples y hasta 30 m con tablestacas compuestas.

3.1.2.2. Pantallas de hormigón

Las pantallas de hormigón armado suelen ser de sección rectangular, o en “T”, con espesores que generalmente oscilan entre 0.60 y 1.20 m. También pueden construirse pantallas con pilotes tangentes. El sistema de anclaje suele ser en la mayor parte de los casos activo, debido a su menor deformabilidad, aunque también pueden ser pasivos. Los sistemas de anclaje son similares a los descritos para las pantallas de tablestacas.

En muchos casos, la coronación de la propia pantalla de hormigón tiene funciones de superestructura, teniendo incluso capacidad para soportar cargas verticales importantes como las producidas por los equipos de manipulación de mercancías.

Este tipo de pantallas puede construirse prefabricadas (pilotes hincados próximos, perfiles machihembrados, etc.) u hormigonadas “in situ” mediante excavación previa del terreno, manteniendo estable la excavación a base de productos tixotrópicos como la bentonita y posterior hormigonado, por lo que debe realizarse desde terreno seco, pudiendo ser éste natural o un relleno provisional. Para esta última metodología constructiva es conveniente que el suelo no sea excesivamente permeable o presente huecos o cavidades importantes.

En función del espesor de la sección resistente adoptado, esta tipología permite alturas libres superiores a los 20 m.

A continuación, en la *Figura 5*, se puede observar una sección tipo de una obra de atraque ejecutada mediante pantallas. Esta sección es válida tanto para tablestacas como para pantallas de hormigón.

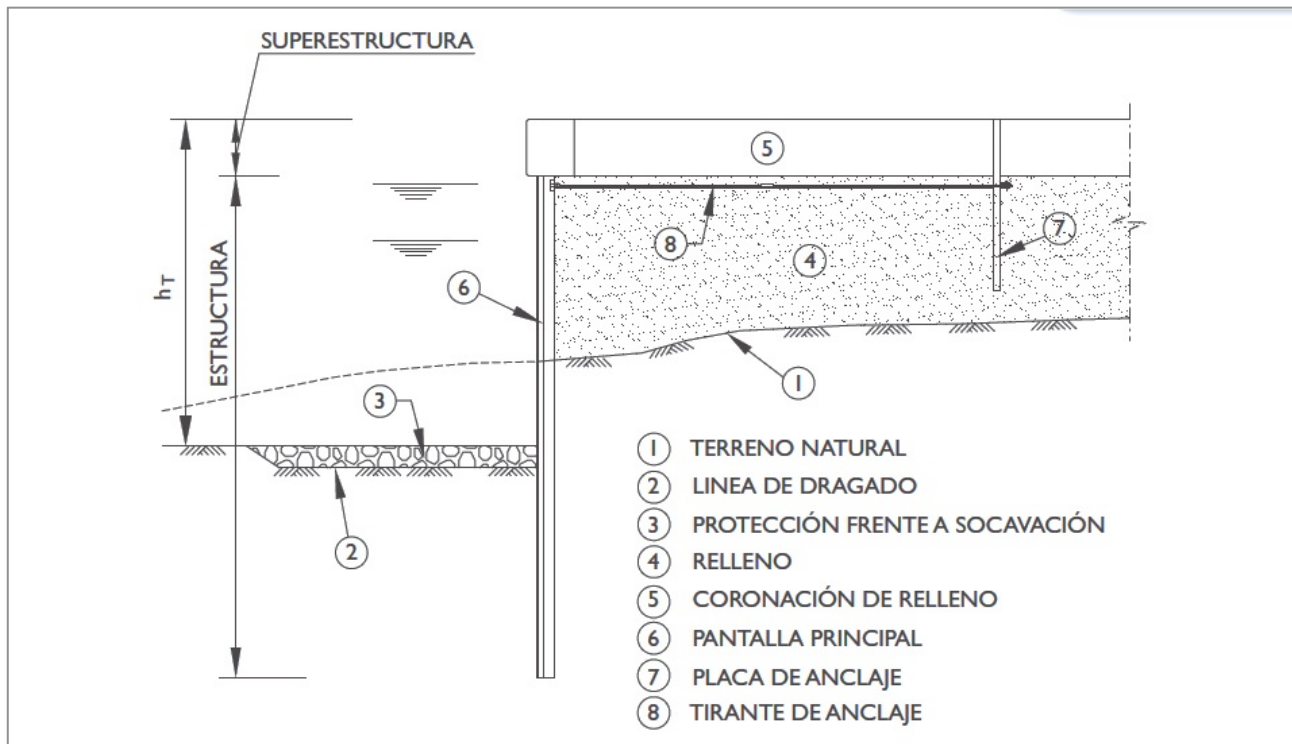


Figura 5. Muelle de pantallas. Sección tipo

3.2. Obras fijas abiertas. Muelles plataforma

Las obras fijas abiertas o muelles plataforma son aquellos en las que la estructura está formada por una plataforma sustentada en pilotes o pilas, siendo el paramento que conforma la línea de atraque no continuo, permitiendo el paso del flujo del agua.

En el caso de que exista un relleno adyacente, la plataforma supone la prolongación de la coronación del relleno sobre el talud del mismo hasta que alcanza la línea de atraque.

Puede considerarse que en esta tipología la estructura integra los elementos de la superestructura propiamente dicha.

En función de la forma en que la estructura resiste las acciones y las transmite al terreno de cimentación, los muelles pueden dividirse en muelles de pilotes, muelles sobre pilas u otros tipos.

3.2.1. 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.



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 axiles, cortantes y de flexión. En caso de disponer pilotes inclinados o verticales e inclinados, estarán solicitados fundamentalmente por axiles. 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”.

La contención del relleno en la coronación del talud puede hacerse con una solución de gravedad, con muros de hormigón prefabricados o contruidos “in situ”, normalmente cimentados por encima del nivel medio del mar, o alternativamente puede utilizarse una solución de pantalla de tablestacas.

Es de especial relevancia la posibilidad de asientos diferenciales entre el trasdós flexible y la plataforma rígida, asientos que pueden dificultar la explotación del muelle por los necesarios recrecidos del pavimento del trasdós. Asimismo, es posible la rotura de pilotes por falsas maniobras de atraque, sobre todo con los bulbos de los buques, circunstancia a tener en cuenta en la conservación de las obras de esta tipología. A continuación, en la *Figura 6*, podremos observar una sección tipo de esta tipología.

Esta tipología de obra de atraque y amarre puede ser contruida para todo calado y en prácticamente cualquier tipo de suelo. Las dificultades que pueden ofrecer ciertos niveles duros que hayan de atravesarse o el empotramiento en roca pueden resolverse con pilotes perforados y



hormigonados “in situ”. No obstante, su utilización es obligada en aquellos terrenos en los que el sustrato resistente está a una profundidad excesiva respecto del calado de proyecto.

No obstante lo anterior, cuando el sustrato resistente está a una gran profundidad, la estructura de pilotes puede llegar a ser muy flexible, generando movimientos que pueden ser incompatibles con las condiciones de explotación requeridas. En estos casos, así como cuando las cargas horizontales sean tan elevadas que no permitan un dimensionamiento razonable de la estructura, es recomendable ir a soluciones mixtas, separando la plataforma de los puntos de atraque y amarre utilizando duques de alba o bien, rigidizando la estructura mediante caballetes de pilotes inclinados.

Además, se deberá tener en cuenta las situaciones de “rozamiento negativo”, es decir, aquellas en las que el asiento del terreno de la explanada es mayor que el de la cabeza de los pilotes. Dichas situaciones conducen a esfuerzos de compresión sobre los pilotes mayores que los debidos a las cargas transmitidas por la estructura.

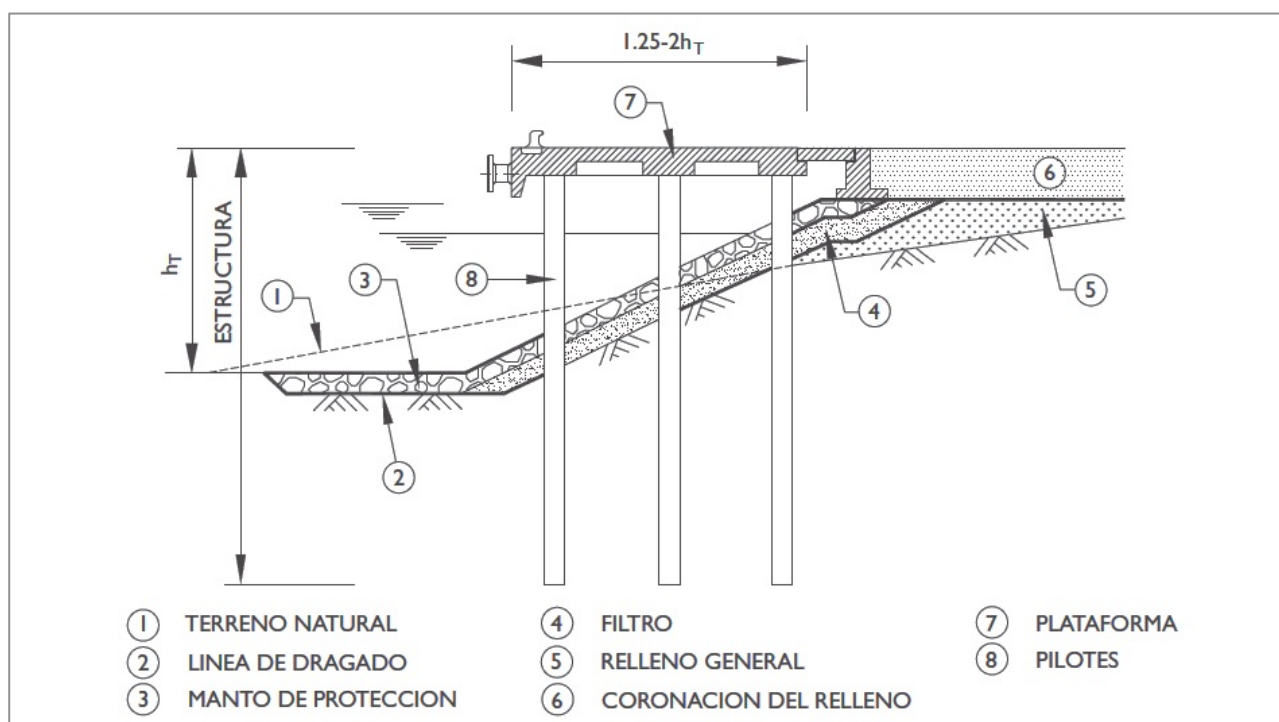


Figura 6. Muelle de plataforma sobre pilotes Sección tipo

3.2.2. Sobre pilas

La estructura resistente se diferencia de la de pilotes en que está formada por una plataforma apoyada en pilas, generalmente constituidas por estructuras de gravedad.

La resistencia de las cargas verticales y horizontales de uso y explotación y su transmisión a la cimentación se realiza a través de las pilas, mediante su propio peso y la resistencia al



deslizamiento en el contacto estructura-cimiento. En general, la plataforma no se dimensiona para resistir las grandes acciones horizontales de atraque y amarre que se aplican directamente a las pilas.

Las pilas deben situarse a una separación adecuada a la capacidad resistente del tablero que las une, recomendándose que la cara inferior de las vigas integrantes del tablero esté situada por encima del nivel del mar en cualquier condición de marea. Por otra parte, en puertos comerciales, la separación entre pilas no será mayor que la máxima separación admisible entre defensas o puntos de amarre.

Dado que las pilas generalmente son obras de gravedad, esta tipología estructural requiere suelos de cimentación de elevada capacidad portante, localizados a niveles accesibles. Estos suelos pueden ser tanto naturales como mejorados o rellenos de sustitución. Se recomienda que los apoyos de los tableros sobre las pilas sean isostáticos, para absorber mejor los asientos diferenciales entre ellas.

Cuando la anchura de la estructura de un muelle de pilas permite el desarrollo del talud bajo los tableros, siendo éstos rectos o abovedados, el muelle se denomina tipo “claraboya”.

3.2.3. Otros tipos

Otro tipo de obras fijas abiertas es el de las estructuras metálicas rigidizadas en el plano horizontal mediante la disposición de elementos en celosía que se apoyan en el fondo mediante pilotes hincados. Son las llamadas celosías espaciales o “jackets”. Su uso más común es el de plataformas marinas de investigación o extracción de petróleo aunque también se han construido como obras de atraque y amarre.

3.3. Tipologías a considerar

Una vez descritas las distintas tipologías de muelles que se podrían encontrar en una instalación náutico-deportiva vamos a proceder a realizar una criba con la que obtendremos un número más reducido de alternativas a valorar para posteriormente escoger la más adecuada para la ampliación del Puerto Deportivo de Oliva.

En primer lugar, cabe destacar que actualmente existen dos tipologías de muelles en el puerto. La primera de ellas podemos encontrarla en el muelle situado al sur de la instalación portuaria, en la zona donde se ubica el edificio social. Se trata de una serie de muelles de bloques prefabricados de hormigón que sirven de apoyo a los distintos pantalanes que se distribuyen en la dársena. La segunda, podemos observarla en el muelle norte ejecutado tras la ampliación de 2002. Este muelle tiene una tipología un tanto inusual en instalaciones portuarias destinadas al



ejercicio de la náutica, pues se trata de un muelle de cajones indios hincados que van rellenos de material granular.

Otro aspecto a considerar podría ser la necesidad en el puerto de un calado no muy grande, pues como podemos ver en el “*Anejo 7. Determinación de la demanda y flota tipo*”, el puerto pretende dar amarre a embarcaciones de no más de 15 metros de eslora, por lo que el calado máximo que debería de tener la zona abrigada del puerto no tendría por que ser muy elevado.

Cabe destacar que, como bien se refleja en el “*Anejo 3. Geología y geotecnia*”, el terreno sobre el que descansarán los muelles está formado por una capa granular de arenas finas suficientemente competentes. Además, dado que no va a estar sometido a grandes esfuerzos cortantes, se podría decir que sería posible la realización de una cimentación superficial. Sin embargo, al tratarse de arenas finas de una capacidad portante media se debería de tener en cuenta los posibles asentamientos producidos durante la fase de construcción.

De cara a facilitar la realización de las obras e intentar disminuir su coste se pretende que las obras se ejecuten con elementos prefabricados y preferiblemente que las obras se lleven a cabo desde tierra.

En vista de lo anterior, se concluye que las dos tipologías más adecuadas para la ejecución de los muelles serían:

- **Alternativa 1:** Muelle de bloques prefabricados de hormigón.
- **Alternativa 2:** Muelle de pantallas de tablestacas.



4. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Con el objetivo de escoger la mejor solución entre las dos propuestas anteriormente realizaremos un análisis multicriterio, esta metodología ya se ha utilizado para la elección de las alternativas en planta y por lo tanto se seguirá el mismo procedimiento.

Se establecerán primero unos criterios a considerar en la elección de la solución óptima, se establecerá una ponderación para los criterios analizados. De esta manera se conseguirá determinar la influencia de estos criterios en la decisión final.

Finalmente, valorando los resultados obtenidos, se escogerá la mejor de las opciones analizadas.

4.1. Criterios

Los criterios que se van a considerar en la toma de decisiones son:

- **Concordancia con el estado actual:** se debe tener en cuenta el estado y la tipología actual de los muelles.
- **Condicionantes constructivos:** en función de cada una de las tipologías deberemos de considerar tanto su facilidad de construcción como los procedimientos constructivos que se llevarán a cabo durante su ejecución.
- **Condicionantes económicos:** el factor económico es también un condicionante importante a la hora de diseñar y proyectar estas obras de atraque y amarre. Cada tipología tiene sus costes, que se ven afectados por diversos factores como pueden ser los materiales con los que se ejecuta, la disponibilidad de los mismos o el proceso constructivo.
- **Condicionantes estéticos:** la estética es otro factor importante a considerar ya que al tratarse de un puerto deportivo se debe conseguir integrar en la medida de lo posible el muelle en la instalación portuaria creando un entorno atractivo y agradable para todo aquel que visite dicha a instalación o haga uso de sus servicios.
- **Condicionantes estructurales y técnicos:** el funcionamiento estructural y por lo tanto la facilidad de cálculo y dimensionamiento, además de su comportamiento durante su vida útil, deben de ser también un factor a tener en cuenta a la hora de escoger una u otra tipología.
- **Condicionantes funcionales:** también se deberá considerar la funcionalidad de las distintas alternativas y como encajan con las necesidades descritas en anteriores anejos.
- **Condicionantes ambientales:** deberemos de considerar la afección que la obra de atraque una vez realizada y sobre todo durante su construcción, pueda tener con el entorno



en el que se ubica, evitando, si fuese posible, la generación de residuos que puedan afectar a la calidad de las aguas interiores y sobretodo a las playas ubicadas al norte y al sur del puerto.

- **Mantenimiento y conservación:** un muelle, a lo largo de su vida útil, requiere de un mantenimiento y una conservación que está directamente relacionada con el coste final del mismo. Así, los materiales de los muelles pierden sus propiedades, los firmes se degradan y las estructuras que los conforman van perdiendo funcionalidad con el paso de los años llevando a los mismos a perder la función para la que fueron proyectados o, llevado al extremo, a su colapso total.

Cada criterio tendrá una puntuación entre 1-6 según la valoración subjetiva reflejada en la siguiente tabla (ya usada en otros anejos):

Valoración	Puntuación
Muy malo	1
Malo	2
Adecuado	3
Bueno	4
Muy bueno	5
Excelente	6

Tabla 2. Puntuación criterios

4.2. Coeficientes de ponderación

Para evaluar la importancia de un criterio frente a los demás se aplicarán unos coeficientes que ponderen de manera distinta cada criterio según la importancia que se le de a cada uno.

A continuación se establecerá una ponderación para criterio:

- **Concordancia con el estado actual:** la continuidad de una tipología es muy importante para evitar discontinuidades estructurales y visuales en el caso de que el muelle se amplíe.

Coeficiente de ponderación: 10

- **Condicionantes constructivos:** los condicionantes constructivos están directamente relacionados con otros criterios como los estructurales, la disponibilidad de medios o los condicionantes económicos. También es importante estudiar la accesibilidad de los medios disponibles, ya sea de materiales como pueden ser el cemento, los áridos o la escollera, así como de la maquinaria tanto terrestre. como marítima si fuese necesaria. La lejanía o dificultad de disponer de medios para realizar un cierto tipo de muelles es un gran condicionante.

Condicionantes de ponderación: 10



- **Condicionantes económicos:** el coste de la realización del muelle está muy relacionado con la tipología y es un aspecto a tener muy en cuenta ya que la elección de una u otra tipología supondrá una diferencia en el precio final de la obra. Considerar los aspectos económicos es clave para una buena elección. ***Coeficiente de ponderación: 9***
- **Condicionantes estéticos:** la estética es un factor importante en la toma de decisiones. Un diseño de muelle atractivo puede ser un factor clave para crear un ambiente agradable en el puerto que pueda afectar al turismo de la zona. ***Coeficiente de ponderación: 6***
- **Condicionantes estructurales y técnicos:** los condicionantes estructurales de cada solución tienen un cierto peso ya que todo calculo estructural que deba llevarse a cabo puede ser realizado con mayor o menor dificultad. ***Coeficiente de ponderación: 5***
- **Condicionantes funcionales:** de un peso similar a la estética, la funcionalidad que debe de tener el muelle debe de ser considerada pero con un peso no muy grande ya que no es un aspecto principal en nuestra obra. ***Coeficiente de ponderación: 4***
- **Condicionantes ambientales:** en cualquier instalación portuaria el factor ambiental juega un factor muy importante en el correcto desarrollo de las actividades en la misma. En el caso de llevar a cabo una ampliación es importante considerar la afección que una u otra tipología de muelle pueda tener con el entorno y con la calidad de las aguas del puerto. Aunque importante, un muelle, durante su construcción y durante su vida útil, no provoca demasiada repercusión al medio ambiente. ***Coeficiente de ponderación: 4***
- **Mantenimiento y conservación:** este factor puede ser considerado como uno de los más importantes a la hora de elegir una u otra tipología de muelle. Cada muelle puede presentar diferentes patologías y/o averías a lo largo de su vida útil. Estas averías suponen un coste añadido que debe de tenerse en cuenta a la hora de la elección de la tipología adecuada. ***Coeficiente de ponderación: 8***

Criterio	Ponderación
Concordancia	10
Constructivo	10
Económico	9
Mantenimiento	8
Estético	6
Estructural	5
Funcional	4
Ambiental	4

Tabla 3. Coeficientes de ponderación criterios



5. Valoración de las alternativas

5.1. Alternativa 1

Esta alternativa es la misma que el tipo de muelle actual, por lo que encaja a la perfección con las infraestructuras actuales. La valoración para esta alternativa según la **concordancia con la tipología actual** es **EXCELENTE**.

La construcción de un muelle de gravedad ejecutado con bloques de hormigón es bastante simple si la comparamos con otras tipologías. Además, el hecho de que los bloques de hormigón sean prefabricados facilita el proceso constructivo. Para llevar a cabo dicho muelle, se colocarán los bloques de hormigón hasta la cota deseada formando un paramento vertical que será coronado con una viga cantil que dotará al muelle de la continuidad adecuada y corregirá posibles defectos derivados de la colocación de los bloques. A continuación, se llevará a cabo el relleno del trasdós con material seleccionado y se continuarán disponiendo las siguientes capas. Cabe destacar que debido a que sería posible el acceso de la maquinaria terrestre a la zona, no sería necesaria la construcción utilizando medios marítimos, lo que supondría una importante reducción del coste de la obra. Por último, nombrar que los materiales utilizados procederán de una cantera situada a unos 20 minutos y que en cuanto a los bloques prefabricados deberán ser pedidos a la empresa competente. Por lo tanto, para el criterio de **condicionantes constructivos** se le otorga una valoración **EXCELENTE**.

El **aspecto económico** es también un aspecto bastante favorable, pues se trata de una tipología de muelle bastante económica. Además, el hecho de poder utilizar materiales que proceden de la desmantelación de los antiguos diques hace que el coste de la obra pueda verse reducido. Por último, cabe destacar la existencia de una posible economía de escala en relación con los materiales utilizados en el dique que podrían ser los mismos que los utilizados en el relleno del muelle, ahorrando así tanto en el transporte de los mismos, como en su adquisición. Por tanto, al criterio económico se le valora con una puntuación de **MUY BUENA**.

En cuanto a la **estética** de un muelle de bloques de hormigón prefabricados hay poco que destacar. No son elementos que supongan un gran obstáculo visual en el puerto, más bien crean una visión agradable y sencilla en el mismo, ya que en ellos se suelen ejecutar grandes explanadas de hormigón destinadas a distintos usos. Con poco que valorar en cuanto a la estética, podremos asignar una valoración **BUENA**.

Los **aspectos estructurales** para muelles de gravedad son básicos, pues el cálculo estructural es quizás el más simple de cualquier tipología y no suele presentar complicación alguna. Por lo tanto, la valoración estructural es **MUY BUENA**.



En cuanto a la **funcionalidad** del muelle, tenemos que además de dar servicio a las embarcaciones que requieran un atraque, permite la colocación de pantalanés para dar servicio a un mayor número de embarcaciones y por último, en la explanada del muelle pueden desarrollarse distintas actividades relacionadas con el sector náutico-deportivo. Debido a ello, consideramos que el muelle, en cuanto a su funcionalidad, puede recibir una valoración de **ADECUADO**.

La construcción de un muelle de gravedad no representa mucha diferencia con respecto al impacto ambiental que pueda producirse con otras tipologías de características similares. Por tanto la valoración de la Alternativa 1 en función de los **factores ambientales** puede recibir una valoración de **ADECUADO**.

Para finalizar, el muelle bloques de hormigón es un muelle que, debido a su proceso constructivo, no presenta demasiados inconvenientes a lo largo de su vida útil que deban de ser subsanados o que requieran de tareas de conservación. Por lo tanto si hablamos del **mantenimiento y la conservación** de esta tipología de muelle, se podría decir que una valoración **BUENA** es completamente correcta.

5.2. Alternativa 2

Esta alternativa es muy similar a la anterior en cuanto a su geometría, pues se trata también de un muelle de paramento vertical, pero es totalmente distinta con respecto a su comportamiento estructural, en este caso el muro de contención que sostiene las tierras del trasdós del dique está ejecutado con tablestacas hincadas en el terreno y no con bloques que resisten por gravedad debido a su propio peso.

En este caso, la Alternativa 2 no se asemeja a ninguna de las tipologías existentes en el puerto, sin embargo, a su favor cabe destacar que aunque distinta, puede ser una tipología totalmente válida capaz de mantener una buena concordancia con los muelles existentes debido a sus similitudes geométricas. Por lo tanto, en lo que respecta a su **concordancia con la tipología actual** será **ADECUADA**.

La construcción de un muelle de pantallas de tablestacas presenta más complicaciones que si lo comparamos con la tipología referente a la Alternativa 1, ejecutada con bloques de hormigón prefabricados. En primer lugar, un factor a tener en cuenta será la necesidad de disponer de una máquina especial capaz de proceder a la hinca de las tablestacas lo que supondrá un coste extra en comparación la otra alternativa. Por lo tanto, para el criterio de **condicionantes constructivos** se le otorga una valoración **BUENA**.



En cuanto al **aspecto económico** es este un aspecto que debe de ser tratado a la hora de valorar esta alternativa. Como hemos dicho anteriormente, tenemos en este caso una alternativa relativamente más cara que la anterior debido en buena parte a la necesidad, tanto de un operario capacitado que proceda a la hinca de las tablestacas que forman el paramento vertical del muelle, como a su correspondiente maquinaria. Sin embargo, cabe destacar que, como en la alternativa anterior, los materiales utilizados en el relleno del trasdós pueden proceder de la desmantelación de los diques existentes en el puerto, ahorrando así tanto en tiempo de ejecución como en dinero para la adquisición de nuevos materiales. Por tanto, al criterio económico se le valora con una puntuación de **BUENA**.

En cuanto a la **estética** de un muelle de pantallas de tablestacas, si que es cierto que si lo comparamos con un muelle de gravedad cuyo paramento vertical sea de hormigón, se nos hace visualmente más atractivo este último, debido quizás a que el aspecto metálico y frío de las tablestacas genera una visión global del muelle y del puerto en general menos recreativa, es decir, relacionamos un muelle de tablestacas a actividades más alejadas de la náutica deportiva. Aún así, un muelle de este tipo no es un elemento que suponga un gran impacto visual ni para los usuarios del puerto ni para los visitantes. Debido a ello, podremos asignar una valoración **ADECUADA**.

Los **aspectos estructurales** para muelles de pantallas de tablestacas son más complicados, pues el cálculo estructural bastante más complicado que el de cualquier tipología, Esta tipología de muelle suele estar destinada a suelos donde el estrato resistente se encuentra a profundidades medias y altas, es por ello que en ocasiones el cálculo estructural de este tipo de muelles suele presentar ciertas complicaciones. Por lo tanto, la valoración estructural es **ADECUADA**.

El tema de la **funcionalidad** es prácticamente el mismo que el analizado en la Alternativa 1. El muelle proporciona en su conjunto unos servicios que permiten la realización de las actividades propias de la náutica como puede ser el atraque, el amarre, la varada de embarcaciones. Debido a ello, en cuanto a su funcionalidad, puede recibir una valoración de **ADECUADO**.

El único inconveniente que tal vez podamos destacar de la ejecución de un muelle con pantallas de tablestacas es el relacionado con los residuos que genera la maquinaria propia de este tipo de solución constructiva. Por lo demás, la construcción de un muelle, de cualquier tipología, no representa un impacto ambiental importante que deba de marcar la decisión de elegir una u otra tipología. Por tanto, en función de los **factores ambientales** puede recibir una valoración de **MALA**.



Por último, si hablamos del **mantenimiento y la conservación** de las distintas obras de atraque y amarre, cabe destacar que un muelle ejecutado con pantallas de tablestacas suele presentar un gran número de averías y patologías que deberán subsanarse a lo largo de su vida útil. Por tanto, la alternativa 2, en cuanto al mantenimiento y conservación, recibe una valoración **MALA**, puesto que requerirá de inspecciones periódicas y de tareas de conservación.

5.3. Valoración final

En la siguiente tabla se resumen las valoraciones expuestas anteriormente para cada criterio, dando un valor numérico según se ha explicado:

	Alternativa 1	Alternativa 2
Concordancia	6	3
Constructivo	6	4
Económico	5	4
Mantenimiento	4	2
Estético	4	3
Estructural	5	3
Funcional	3	3
Ambiental	3	2

Tabla 4. Valoración numérica de las distintas alternativas



6. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Con las valoraciones que hemos otorgado a las alternativas según los distintos criterios podemos realizar una matriz multicriterio en la que se ponderan estos valores con los coeficientes de ponderación descritos anteriormente.

La matriz multicriterio obtenida es la siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2
Concordancia	60	30
Constructivo	60	40
Económico	45	36
Mantenimiento	32	16
Estético	24	18
Estructural	25	15
Funcional	12	12
Ambiental	12	8
Suma	270	175

Tabla 5. Matriz multicriterio de las distintas alternativas

Como se puede ver en la *Tabla 5* la opción mejor valorada es la alternativa 1, que constituye un **muelle de gravedad de bloques prefabricados de hormigón**.

Se trata pues de una de las soluciones que más económicas resultan debido a la mecanización del proceso y la sencillez de medios de ejecución necesarios, ya que estos no requieren ninguna característica en concreto que dificulten su trabajo o encarezcan su precio.

La tipología escogida se caracteriza por su sencillez constructiva, que no requiere apenas operaciones dificultosas ni mucha mano de obra específica. La usual prefabricación de los bloques permite tanto facilitar aún más la ejecución de estos tipos de muelles, como el reducir considerablemente el plazo de ejecución.

Por último, al ser esta tipología una de las más resistentes de todas las mencionadas, esto implica una menor vulnerabilidad de la estructura y por lo tanto una menor necesidad de inversión de tiempo y dinero en su mantenimiento.



MARTÍNEZ BAENAS
Abraham

Valencia, Junio de 2015



ANEJO 9.4

ESTUDIO DE SOLUCIONES DE PANTALANES



ÍNDICE GENERAL

1. OBJETO	87
2. INTRODUCCIÓN	88
3. TIPOLOGÍAS DE PANTALÁN	89
3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS PANTALANES	89
3.1.1. SEGÚN EL MATERIAL CON EL QUE SE CONSTRUYEN	89
3.1.2. SEGÚN EL FIN PARA EL QUE SE DISEÑAN	91
3.1.3. SEGÚN LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	92
3.2. TIPOLOGÍAS A CONSIDERAR	93
4. ESTUDIO DE SOLUCIONES	94
4.1. CRITERIOS	94
4.2. COEFICIENTES DE PONDERACIÓN	95
4.3. VALORACIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS	97
4.3.1. ALTERNATIVA 1	97
4.3.2. ALTERNATIVA 2	98
4.3.3. VALORACIÓN FINAL	99
5. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	100



ÍNDICE IMÁGENES

1.	Figura 1. Sección tipo pantalán flotante con pilas	88
1.	Figura 2. Pantalán de madera	89
2.	Figura 3. Pantalán de hormigón	89
3.	Figura 4. Pantalán de material compuesto	90
4.	Figura 5. Pantalán de aluminio	90
5.	Figura 6. Pantalán para embarque y desembarque de personas	91
6.	Figura 7. Pantalán para carga y descarga de materiales	92

ÍNDICE TABLAS

1.	Tabla 1. Puntuación criterios	95
2.	Tabla 2. Condicionantes de ponderación criterios	96
3.	Tabla 3. Valoración numérica de las distintas alternativas	99
4.	Tabla 4. Matriz multicriterio de las distintas alternativas	100



1. OBJETO

El objetivo fundamental de una obra de atraque y amarre es proporcionar a los barcos unas condiciones adecuadas y seguras para su permanencia en puerto y/o para que puedan desarrollarse las operaciones portuarias necesarias, en este caso de carácter deportivo, para las actividades de carga y descarga, así como embarque y desembarque de pasajeros, que permitan su transferencia entre éstos y tierra u otros medios de transporte.

El objeto del presente anejo es realizar un estudio comparativo de las distintas soluciones posibles de pantalanes, para aumentar la capacidad de atraque y amarre del puerto, y determinar cuál es la más adecuada para nuestro caso particular en función de una serie de criterios expuestos más adelante en el presente anejo.

2. INTRODUCCIÓN

Los pantalanes se definen como estructuras de atraque y amarre, fijas o flotantes, que pueden conformar líneas de atraque tanto continuas como discontinuas, atracables a uno o a ambos lados. El principal elemento diferencial respecto de los muelles es que no disponen de rellenos adosados y, por tanto, no dan lugar a la creación de explanadas. Pueden estar conectados o no a tierra. En el primer caso la conexión suele realizarse bien por prolongación de la misma estructura o mediante pasarelas o puentes.

En general, los pantalanes que conforman líneas de atraque discontinuas suelen responder a soluciones mixtas, al estar constituidos o complementarse con varios duques de alba de atraque y/o de amarre, plataformas auxiliares generalmente no atracables y boyas de amarre.

Las obras de atraque para uso náutico-deportivo, yates y megayates, deben fundamentalmente garantizar una permanencia segura de los barcos en puerto, facilitando la accesibilidad de sus usuarios. El principal condicionante es que la configuración física del atraque debe permitir el máximo aprovechamiento del espacio disponible para flotas de características muy poco homogéneas.

Por dichas razones, la tipología más conveniente es el pantalán continuo si permanecen atracadas o los campos de boyas en las áreas de fondeo.

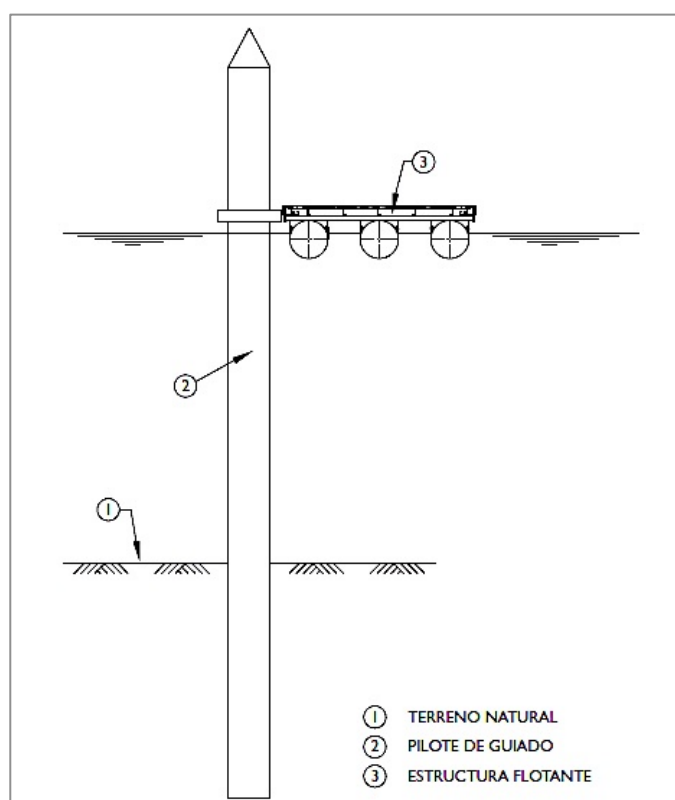


Figura 1. Sección tipo pantalán flotante con pilas



3. TIPOLOGÍAS DE PANTALÁN

3.1. Clasificación de los pantalanos

Los pantalanos pueden clasificarse de acuerdo a diversos conceptos entre los cuales se citan los siguientes:

3.1.1. Según el material con el que se construyen

➤ MADERA:

Es el tipo de pantalán más antiguo que existe. Su principal inconveniente es el deterioro y la pudrición. El coste del producto es muy bajo pero por el contrario la vida útil es baja.



Figura 2. Pantalán de madera

➤ HORMIGÓN:

Son muy resistentes y carecen de mantenimiento. Tienen una alta capacidad y una vida útil elevada.



Figura 3. Pantalán de hormigón



➤ MATERIAL COMPUESTO:

Tiene muy buenas prestaciones como material estructural aportando un peso específico bajo y caracterizado por su durabilidad y sin necesidad de mantenimiento.



Figura 4. Pantalán de material compuesto

➤ ALUMINIO:

Se suele alea el aluminio con otros metales para mejorar sus propiedades mecánicas, lo que permite realizar operaciones de fundición, forja o de extrusión. Su principal inconveniente es que es conductor y que reacciona con muchas sustancias, como haloalcanos, bromo, etc. La capa pasiva que crea el aluminio deteriora su acabado el cual necesita tratamientos para su buen acabado.



Figura 5. Pantalán de aluminio

➤ **ACERO (MARINO, INOXIDABLE):**

El acero marino tiene como principal inconveniente la corrosión, por lo que necesita de un mantenimiento adicional para garantizar su vida útil. El acero inoxidable por el contrario no necesita mantenimiento gracias a sus buenas propiedades frente a la corrosión. El principal inconveniente del acero inoxidable es su elevado precio.

3.1.2. Según el fin para el que se diseñan

➤ **EMBARQUE Y DESEMBARQUE DE PERSONAS:**

Están destinados principalmente al tránsito de personas tanto para embarcar o desembarcar. Las principales acciones variables a las que se somete éste pantalán es la fuerza de tiro o choque de las embarcaciones atracadas y al peso de las cargas en tránsito.



Figura 6. Pantalán para embarque y desembarque de personas

➤ **CARGA Y DESCARGA DE MATERIALES:**

Están diseñados principalmente para el tránsito de mercancías. Las principales acciones variables a las que está sometido el pantalán o muelle es el tiro o choque de la embarcación creado por el movimiento de las aguas marinas y las cargas gravitatorias en tránsito de la mercancía.

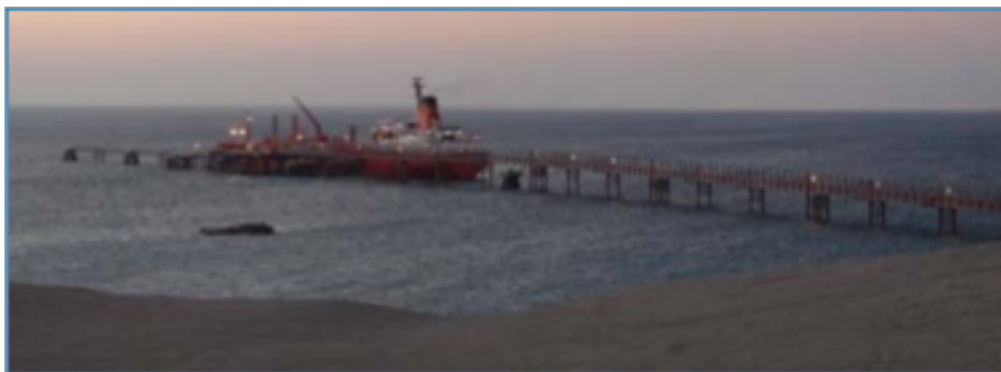


Figura 7. Pantalán para carga y descarga de materiales

3.1.3. Según la tipología estructural

➤ PANTALÁN FIJO:

Sea cual sea la composición y configuración de un pantalán fijo, éste permanece en reposo o va anclado al subsuelo del fondo marino. Los pantalanes fijos son considerados estructuras rígidas que proporcionan una resistencia significativa a las fuerzas impuestas. Una consideración primordial para la utilización del pantalán fijo es el tipo de suelo en el que se cimenta la estructura.

Están formados fundamentalmente por elementos horizontales (vigas) que se apoyan en sus extremos sobre soportes o pilotes. Las fuerzas que se transmiten a los pilotes son gravitatorias y transversales. Las fuerzas verticales son las creadas por las cargas gravitatorias de uso (paso de personas y mercancías) más el peso propio de la estructura, y las cargas transversales producidas por las cargas locales generadas por el movimiento de los buques amarrados al moverse horizontalmente debido al movimiento de las aguas marinas.

Estos pilares estarán principalmente sometidos a esfuerzos de compresión y las vigas o elementos horizontales tienden a flexionarse como consecuencia de las cargas que soportan. El esfuerzo de flexión supone una compresión en la zona superior de éstas vigas y un esfuerzo de tracción en la parte inferior de éstas. Los perfiles de estas vigas suelen ser más complejos que las vigas comúnmente utilizadas en forma de I para soportar estos esfuerzos. Estos tipos de pantalanes suelen utilizarse en puertos donde los rangos de mareas son bajos (entre 0 y 1,5 metros) ya que los desniveles altos entre plataforma y buque originan situaciones de peligro en el embarque y desembarque de personas y mercancías. Los pantalanes fijos generalmente son contruidos in situ, normalmente con componentes prefabricados.



➤ PANTALÁN FLOTANTE:

Sea cual sea su constitución, los pantalanos flotantes suelen ir fijados al suelo marino mediante cadenas, seaflex, etc. Normalmente se construyen a partir de módulos prefabricados. Son útiles en zonas donde el rango de marea es superior a 2 metros ya que facilitan el acceso buque-pantalán para diferentes regímenes de mareas.

Los pantalanos flotantes cuentan con unos flotadores, elaborados de diferentes tipos de materiales. Estos flotadores han de garantizar la flotación del pantalán cuando esté bajo la acción de las cargas para las que se diseñó.

Suelen ser menos estables que los pantalanos fijos pero como ventaja fundamental es el bajo o nulo impacto medioambiental ya que respetan íntegramente el fondo marino permitiendo que las corrientes y el hábitat continúen sin ninguna modificación o agresión.

En el mercado podemos encontrar pantalanos flotantes de hormigón, aleaciones de aluminio, acero galvanizado o materiales compuestos como poliéster reforzado con fibra de vidrio.

3.2. Tipologías a considerar

Una vez descritos los distintos tipos de diques que se pueden utilizar procedemos a realizar una criba de la que obtendremos las tipologías a valorar para posteriormente escoger la más adecuada para la ampliación del Puerto Deportivo de "La Goleta".

La tipología de los pantalanos actuales es de dos fijos de hormigón y ampliados mediante pantalanos flotantes, al igual que los fingers que sirven de apoyo a los muelles y también son flotantes.

Puesto que se trata de un puerto para uso deportivo en la costa valenciana que está bañada por el mar mediterráneo vamos a plantear las siguientes alternativas:

- **Alternativa 1:** Pantalán fijo de hormigón sustentado con pilas de gravedad.
- **Alternativa 2:** Pantalán flotante de aluminio con pilas.



4. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Con el objetivo de escoger la mejor solución entre las dos propuestas anteriormente realizaremos un análisis multicriterio, esta metodología ya se ha utilizado para la elección de las alternativas en planta y por lo tanto se seguirá el mismo procedimiento.

Se establecerán primero unos criterios a considerar en la elección de la solución óptima, se establecerá una ponderación para los criterios analizados. De esta manera se conseguirá determinar la influencia de estos criterios en la decisión final.

Finalmente, valorando los resultados obtenidos, se escogerá la mejor de las opciones analizadas.

4.1. Criterios

Los criterios que se van a considerar en la toma de decisiones son:

- **Concordancia con el estado actual:** se debe tener en cuenta el estado y la tipología actual de los pantalanés.
- **Condicionantes constructivos:** en función de cada una de las tipologías deberemos de considerar tanto su facilidad de construcción como los procedimientos constructivos que se llevarán a cabo durante su ejecución.
- **Condicionantes económicos:** el factor económico es también un condicionante importante a la hora de diseñar y proyectar estas obras de atraque y amarre. Cada tipología tiene sus costes, que se ven afectados por diversos factores como pueden ser los materiales con los que se ejecuta, la disponibilidad de los mismos o el proceso constructivo.
- **Condicionantes estéticos:** la estética es otro factor importante a considerar ya que al tratarse de un puerto deportivo se debe conseguir integrar en la medida de lo posible el muelle en la instalación portuaria creando un entorno atractivo y agradable para todo aquel que visite dicha a instalación o haga uso de sus servicios.
- **Condicionantes estructurales y técnicos:** el funcionamiento estructural y por lo tanto la facilidad de cálculo y dimensionamiento, además de su comportamiento durante su vida útil, deben de ser también un factor a tener en cuenta a la hora de escoger una u otra tipología.
- **Condicionantes funcionales:** también se deberá considerar la funcionalidad de las distintas alternativas y como encajan con las necesidades descritas en anteriores anejos.
- **Condicionantes ambientales:** deberemos de considerar la afección que la obra de atraque una vez realizada y sobre todo durante su construcción, pueda tener con el entorno



en el que se ubica, evitando, si fuese posible, la generación de residuos que puedan afectar a la calidad de las aguas interiores y sobretodo a las playas ubicadas al norte y al sur del puerto.

- **Mantenimiento y conservación:** un pantalán, a lo largo de su vida útil, requiere de un mantenimiento y una conservación que está directamente relacionada con el coste final del mismo. Así, los materiales de los pantalanes pierden sus propiedades y las estructuras que los conforman van perdiendo funcionalidad con el paso de los años llevando a los mismos a perder la función para la que fueron proyectados o, llevado al extremo, a su colapso total.

Cada criterio tendrá una puntuación entre 1-6 según la valoración subjetiva reflejada en la siguiente tabla (ya usada en otros anejos):

Valoración	Puntuación
Muy malo	1
Malo	2
Adecuado	3
Bueno	4
Muy bueno	5
Excelente	6

Tabla 1. Puntuación criterios

4.2. Coeficientes de ponderación

Para evaluar la importancia de un criterio frente a los demás se aplicarán unos coeficientes que ponderen de manera distinta cada criterio según la importancia que se le de a cada uno.

A continuación se establecerá una ponderación para criterio:

- **Concordancia con el estado actual:** la continuidad de una tipología es muy importante para evitar discontinuidades estructurales y visuales en el caso de que el pantalán se amplíe.

Coeficiente de ponderación: 10

- **Condicionantes constructivos:** los condicionantes constructivos están directamente relacionados con otros criterios como los estructurales, la disponibilidad de medios o los condicionantes económicos. También es importante estudiar la accesibilidad de los medios disponibles, ya sea de materiales como pueden ser el cemento, los áridos o los módulos flotantes, así como de la maquinaria tanto terrestre como marítima si fuese necesaria. La lejanía o dificultad de disponer de medios para realizar un cierto tipo de pantalanes es un gran condicionante. **Coeficiente de ponderación: 9**



- **Condicionantes económicos:** el coste de la realización de un pantalán está muy relacionado con la tipología y es un aspecto a tener muy en cuenta ya que la elección de una u otra tipología supondrá una diferencia en el precio final de la obra. Considerar los aspectos económicos es clave para una buena elección. ***Coeficiente de ponderación: 9***
- **Condicionantes estéticos:** la estética es un factor importante en la toma de decisiones. Un diseño de pantalán atractivo puede ser un factor clave para crear un ambiente agradable en el puerto que pueda afectar al turismo y a la flota de la zona. ***Coeficiente de ponderación: 5***
- **Condicionantes estructurales y técnicos:** los condicionantes estructurales de cada solución tienen un cierto peso ya que todo calculo estructural que deba llevarse a cabo puede ser realizado con mayor o menor dificultad. ***Coeficiente de ponderación: 5***
- **Condicionantes funcionales:** la funcionalidad que debe de tener el pantalán debe de ser considerada con un suficiente peso ya que es un aspecto principal en nuestra obra de cara a la optimización de los amarres. ***Coeficiente de ponderación: 7***
- **Condicionantes ambientales:** en cualquier instalación portuaria el factor ambiental juega un factor muy importante en el correcto desarrollo de las actividades en la misma. En el caso de llevar a cabo una ampliación es importante considerar la afección que una u otra tipología de pantalán pueda tener con el entorno y con la calidad de las aguas del puerto. Aunque importante, un pantalán, durante su construcción y durante su vida útil, no provoca demasiada repercusión al medio ambiente. ***Coeficiente de ponderación: 4***
- **Mantenimiento y conservación:** este factor puede ser considerado como uno de los más importantes a la hora de elegir una u otra tipología de pantalán. Cada pantalán puede presentar diferentes patologías y/o averías a lo largo de su vida útil. Estas averías suponen un coste añadido que debe de tenerse en cuenta a la hora de la elección de la tipología adecuada. ***Coeficiente de ponderación: 8***

Criterio	Ponderación
Concordancia	10
Constructivo	9
Económico	9
Mantenimiento	8
Estético	5
Estructural	5
Funcional	7
Ambiental	4

Tabla 2. Coeficientes de ponderación criterios



4.3. Valoración de las tipologías

4.3.1. Alternativa 1

Esta alternativa es la misma que el tipo de pantalán que se construyó en las primeras obras que generaron el puerto, por lo que encaja a la perfección con las infraestructuras actuales. La valoración para esta alternativa según la **concordancia con la tipología actual** es **EXCELENTE**.

La construcción de un pantalán fijo de hormigón mediante pilas no conlleva un **proceso constructivo** demasiado costoso, puesto que se trata como una obra de gravedad que se apoya directamente contra el suelo de material granular, que tiene una capacidad portante suficiente y que no se encuentra a gran profundidad. La valoración por tanto de esta tipología constructiva es **BUENO**.

La **valoración económica** de esta alternativa no conlleva elevados costes, puesto que los bloques se conforman de hormigón y vienen prefabricados de la empresa más cercana suministradora de prefabricados. Al ser prefabricados el coste se reduce al igual que el tiempo de ejecución, lo que nos lleva a mayores rendimientos y menores costes. El único problema es el transporte hasta obra, pero puesto que existen diferentes suministradores cercanos encontrándose uno de ellos en la propia población de Oliva, el coste no será elevado. Por tanto la valoración será de **MUY BUENO**.

El **aspecto estético** de un pantalán de fijo de hormigón dependerá siempre de los acabados, pero su principal factor es que da sensación de firmeza y buena construcción. Siempre se puede adornar con un camino de baldosas o similar para mejorar su aspecto aunque en este caso será el firme el propio hormigón. La valoración estética por tanto será de **BUENO**.

En cuanto al **aspecto estructural**, se trata de una obra de gravedad de poca complejidad, que basa su comportamiento en el rozamiento entre bloques y entre bloques y el suelo, suficientemente estudiado y que no lleva un calculo demasiado complicado. La consideración a tener en cuenta será que los tramos de pantalán de hormigón entre pilas deberán ser isostáticos para evitar desperfectos si se producen asientos diferenciales. La valoración será **MUY BUENO**.

En el **aspecto funcional** de este pantalán podemos destacar que se trata de una buena solución de cara a la disposición de canalizaciones para los servicios del puerto, puesto que proporcionan mejor soporte y mayor rigidez para evitar roturas. Además puesto que estamos en el mar mediterráneo, pese a que pueda variar el francobordo del pantalán, esta variación será mínima y no afecta gravemente a su función de atraque y amarre. La valoración entonces será **MUY BUENO**.



El **condicionante ambiental** no se ve gravemente afectado puesto que a pesar de tratarse de una obra, ésta se ejecuta desde medios terrestres con precaución de no dejar residuos en el agua y con bloques prefabricados que solo han de colocarse sobre el fondo granular. Se le otorga una valoración de **MUY BUENO**.

Finalmente, en cuanto al **mantenimiento y conservación** de un pantalán fijo de hormigón no hay mas que decir que es prácticamente nulo desde su construcción por lo que se le asigna en este aspecto una valoración de **EXCELENTE**.

4.3.2. Alternativa 2

En la ampliación del puerto se construyó un pantalán flotante unido a pilas por lo que nuestra solución también concuerda a la perfección con el **estado actual**. La valoración será de **EXCELENTE**.

La **construcción** de un pantalán flotante es mucho mas sencilla que la de un pantalán fijo, pero puesto que se han de hincar las pilas para el guiado del pantalán, se necesitará un equipo de hincado que puede ser necesario trasladar en pontona hasta la situación de hinca. La valoración otorgada será de **ADECUADO**.

El **aspecto económico** a corto plazo de un pantalán flotante es mucho mejor que en un pantalán fijo, puesto que se compone de menos elementos, a pesar de que como hemos comentado puede ser necesario el uso de una pontona. Por tanto en este caso la valoración será **EXCELENTE**.

El **aspecto estético** de un pantalán flotante es sensiblemente mejor que el de un pantalán de hormigón en cuanto a los acabados, además de que puede ser reemplazado antes y por lo tanto con menos deterioro y más lucidez. La valoración será **MUY BUENO**.

El **condicionante estructural** y técnico en este caso es de menor valor que en el pantalán del caso anterior ya que proporciona un resultado mucho menos estable estructuralmente y técnicamente es necesario el cálculo del hincado de las pilas en el material granular de manera que proporcione a la superestructura suficiente guiado. La valoración será **BUENO**.

La **funcionalidad** de este tipo de pantalan es mucho mayor en lugares con gran carrera de marea, pero como en este caso nos encontramos en el mar mediterráneo no es un aspecto que dé ventaja a esta solución. Además es peor en cuanto a la canalización de los servicios para los amarres. La valoración asignada será por tanto de **ADECUADO**.



El **aspecto ambiental** no tiene mucha repercusión en un pantalán flotante, puesto que además tienen un sencillo desmantelamiento, pero en este caso al conllevar el hincado de las pilas, se incrementará la afección ambiental. La valoración será de **BUENO**.

El **mantenimiento** que conlleva este pantalán flotante es mucho mayor al igual que su vida útil es menor, lo que llevará a la sustitución de la superestructura y por lo tanto la valoración otorgada es de **MALO**.

4.3.3. Valoración final

En la siguiente tabla se resumen las valoraciones expuestas anteriormente para cada criterio, dando un valor numérico según se ha explicado:

	Alternativa I	Alternativa II
Concordancia	6	6
Constructivo	4	3
Económico	5	6
Mantenimiento	6	2
Estético	4	5
Estructural	5	4
Funcional	5	3
Ambiental	5	4

Tabla 3. Valoración numérica de las distintas alternativas



5. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Con las valoraciones que hemos otorgado a las alternativas según los distintos criterios podemos realizar una matriz multicriterio en la que se ponderan estos valores con los coeficientes de ponderación descritos anteriormente.

La matriz multicriterio obtenida es la siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2
Concordancia	60	60
Constructivo	32	27
Económico	45	54
Mantenimiento	48	16
Estético	20	25
Estructural	25	20
Funcional	35	21
Ambiental	25	20
Suma	290	243

Tabla 4. Matriz multicriterio de las distintas alternativas

Como se puede ver en la *Tabla 4* la opción mejor valorada es la **Alternativa 1** que constituye un **pantalán fijo de hormigón apoyado mediante pilas de gravedad**.

GARCÍA IRANZO
Gonzalo

Valencia, Junio de 2015