



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio adaptativo de la superestructura del Muelle 13 del Puerto de Alicante según diferentes elementos de atraque.

Presentado por

García Brook, Francisco David

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2017/2018

Fecha: Septiembre de 2018

Tutor: Joaquín Garrido Checa



ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO Nº1. Memoria y Anejos

- Memoria
- Anejos:
 - Anejo Nº1. Criterios de diseño
 - Anejo Nº2. Geología y geotecnia
 - Anejo Nº3. Estudio de alternativas
 - Anejo Nº4. Justificación de la solución
 - Anejo Nº5. Valoración económica

DOCUMENTO Nº2. Planos

- Planos:
 - Plano Nº1. Situación
 - Plano Nº2. Estado previo
 - Plano Nº3. Planta
 - Plano Nº4.1. Sección S1
 - Plano Nº4.2. Sección S2
 - Plano Nº4.3. Sección S3
 - Plano Nº4.4. Alzado de Muelle 13
 - Plano Nº5.1. Viga cantil (Geometría)
 - Plano Nº5.2. Viga cantil (Armaduras)
 - Plano Nº6. Defensas
 - Plano Nº7. Bolardos

Memoria

FRANCISCO DAVID GARCIA BROOK
ETS DE INGENIERÍA DE CAMINOS CANALES Y PUERTOS | GRADO EN INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ÍNDICE

1. OBJETO DEL ESTUDIO	1
2. ANTECEDENTES	1
3. LOCALIZACIÓN	1
4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS	2
4.1. Cajones	2
4.2. Muro de hormigón sumergido	2
4.3. Bloques de hormigón	3
4.4. Explanada	3
5. CRITERIOS DE DISEÑO	3
5.1. Parámetros generales del estudio	3
5.2. Parámetros de proyecto	3
5.3. Acciones a considerar	3
5.4. Procedimiento de verificación	4
6. GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA	4
6.1. Fangos	4
6.2. Arcillas	4
6.3. Gravas y arenas	5
6.4. Arenisca y arenisca conglomerática	5
7. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	5
7.1. Cargas de atraque	5
7.2. Alternativas	5
7.3. Comparativa de alternativas	6
8. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	6
8.1. Geometría de la viga cantil	6
8.2. Estabilidad frente a deslizamiento y vuelco rígido	7
9. CÁLCULO DEL ARMADO	7
10. VALORACIÓN ECONÓMICA	8
11. NORMATIVA DE APLICACIÓN	8

1. OBJETO DEL ESTUDIO

El presente estudio tiene por objeto la definición, justificación y valoración detallada de la superestructura necesaria para la obra de Prolongación del Muelle 13 del Puerto de Alicante. Ésta nueva prolongación va a permitir disponer de 74.68 m más de línea de atraque en el Muelle 13, y de una explanada de aproximadamente 4.350 m². Tanto la prolongación del muelle como la explanada pasarán a formar parte de las instalaciones del Muelle 13 que actualmente se destinan a tráfico Ro-Ro y mercancía general.

2. ANTECEDENTES

El actual Muelle 13 del Puerto de Alicante ha ido ejecutándose en varias etapas sucesivas. En un principio las instalaciones estaban formadas por un atraque discontinuo, o duque de alba, formado por un cajón prefabricado de hormigón armado.

Posteriormente, y aprovechando el duque de alba existente, se realizaron las obras de continuación del muelle en dirección NO. Esta ampliación permitió una línea de atraque continua que permitió conectar el Muelle 13 con el Muelle 15. En este caso se mantuvo la tipología estructural de muelle de cajones prefabricado de hormigón armado.



Obras de ampliación del Muelle 13 (2004).

Tras todas estas actuaciones, la situación previa a la realización de las obras mostraba un Muelle 13 que no llegaba a unirse con el Muelle 11 por el extremo SE. Por lo que, en la zona, en lugar de formarse un quiebro a modo de esquina entre los dos muelles, existía una zona en desuso.



Estado previo a las obras (2017).

Por lo que con la obra se pretende completar la alineación del Muelle 13 hasta realizar el cierre con el Muelle 11, rellenando así la zona en desuso. Con lo que se busca un incremento de la línea de atraque disponible en el Muelle 13 y se una nueva superficie de explanada para almacenar mercancías.

3. LOCALIZACIÓN

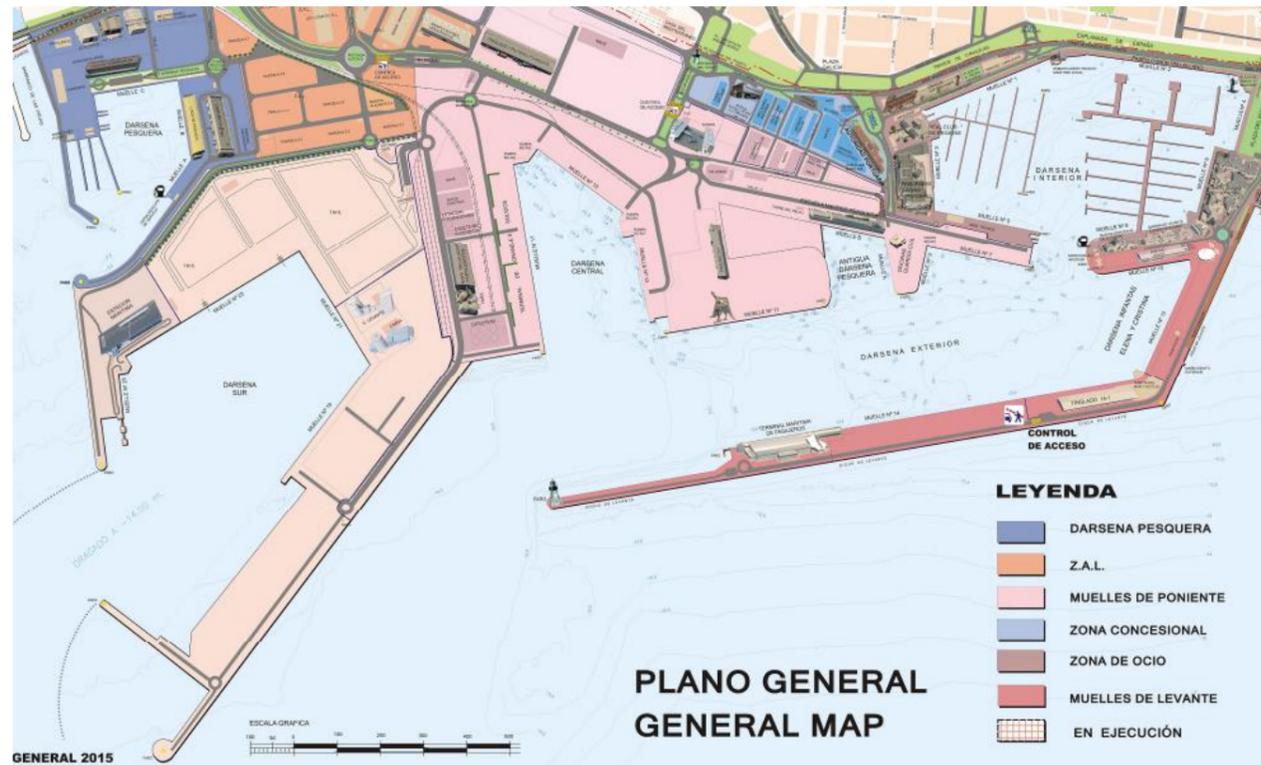
La obra se ubica en Alicante, capital de la provincia homónima, y una de las tres que conforman la Comunidad Valenciana. En concreto, en el Puerto de Alicante.

La ciudad siempre ha estado estrechamente relacionada con el puerto ya que se considera uno de los elementos más importante en relación con el crecimiento económico, cultural y estratégico. Además, cada vez son más los cruceros que hacen escalas en el puerto.

El puerto está conectado por una extensa red intermodal de transportes ya que cuenta con autovías y autopistas que lo conectan con otras ciudades importantes del resto de España, está unido a la red nacional de ferrocarril llegando hasta los muelles y el aeropuerto se encuentra a 12 minutos.

El puerto se divide en cuatro grandes zonas diferenciadas las cuales son el puerto deportivo que alberga además lugares de ocio como restaurantes, casinos, etc.; los muelles de levante destinados mayormente al tráfico de cruceros, los muelles de poniente que concentran la actividad comercial del puerto y la dársena pesquera.

La obra en concreto se ubica en la zona de los muelles de poniente, entre la dársena central y la exterior.



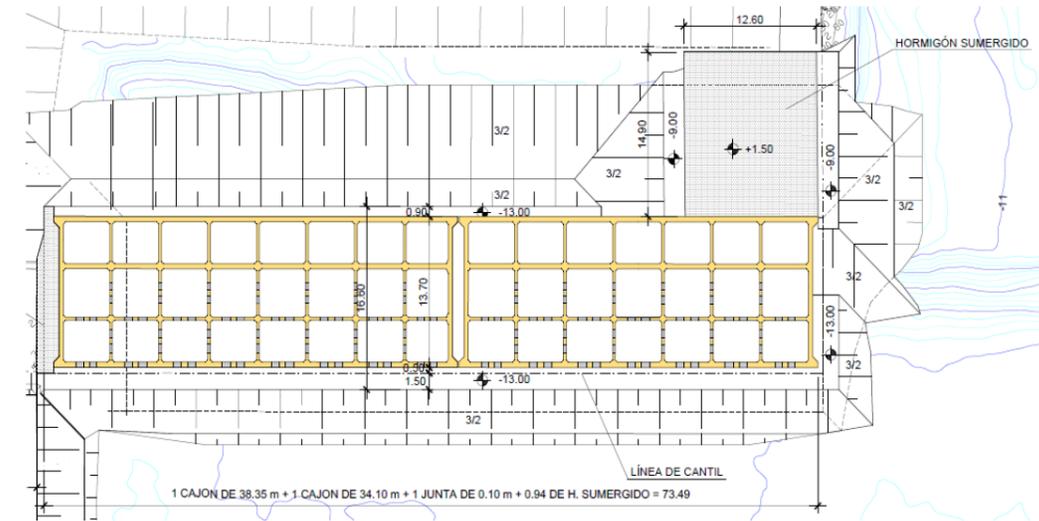
4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

La nueva línea de atraque surgida de la ampliación de los Muelles 11 y 13 del Puerto de Alicante, está formada por 2 cajones flotantes de hormigón armado que continúan la alineación del Muelle 13 y un muro de hormigón sumergido como cierre con el Muelle 11.

Una vez terminada esta ampliación, el Muelle 13 dispondrá de un total de 240 m de largo que permitirá el atraque de mayores buques tanto de mercancía general como RO-RO.

Se consideran 4 zonas distintas:

- La ampliación del Muelle 13 compuesta por cajones tiene una longitud de 74 m aproximadamente con un calado de -13.00 m.
- El hormigón sumergido que hace de cierre con el Muelle 11 tiene una longitud de 14.90 m y un calado de -11.00 m.
- El resto de la alineación del Muelle 11 está compuesta por bloques de hormigón en masa con un calado de -11.00 m.
- Una explanada que pretende rellenar la zona en desuso descrita anteriormente.



Disposición de cajones y muro de hormigón sumergido.

4.1. Cajones

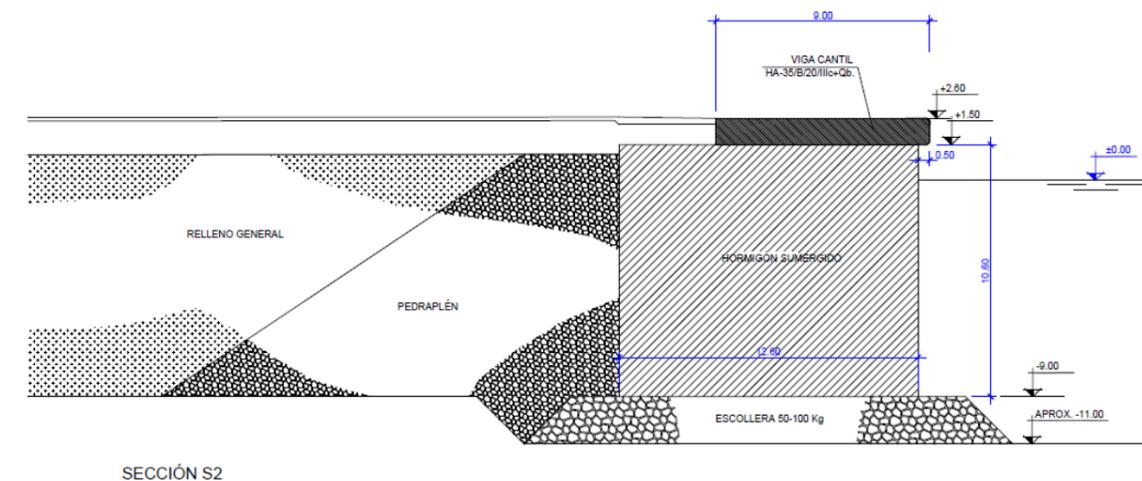
El primer tramo es el que continúa la alineación del Muelle 13 actual y está compuesto por dos cajones cuyas características se especifican en el Anejo Nº1 del presente documento.

En estos cajones se ha previsto la formación de cámaras antirreflejantes con el objetivo de que la influencia de la prolongación sobre las condiciones de agitación sean la menor posible. Para esto se han proyectado perforaciones circulares en las paredes de las dos primeras líneas de celdas, de forma que se permita el paso de agua entre las celdas.

4.2. Muro de hormigón sumergido

Con el objetivo de permitir el cierre del relleno que formará la nueva explanada, se ha diseñado la construcción de un muro de hormigón sumergido en la alineación del Muelle 11.

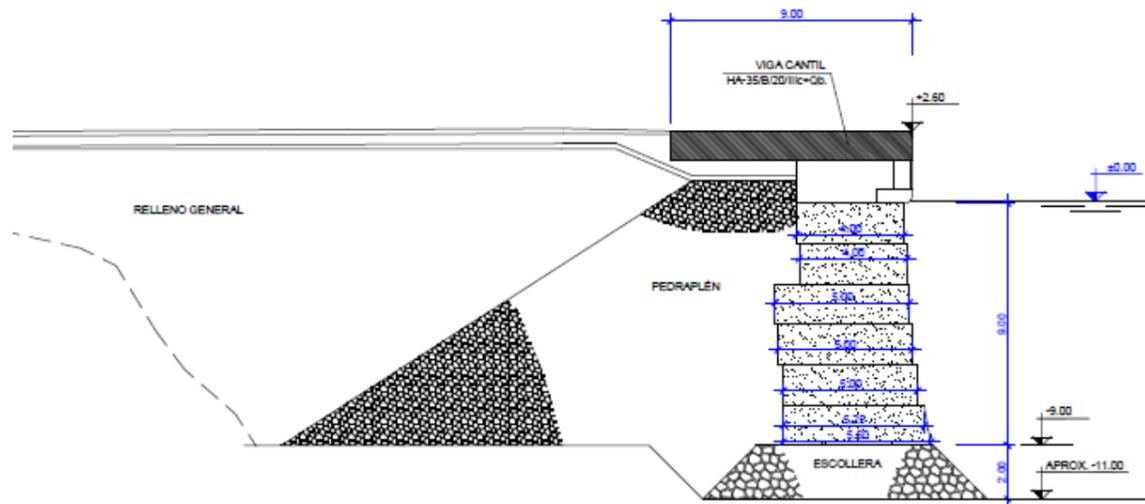
Este muro tiene un ancho de 12.60 m constituido por hormigón sumergido y está cimentado a la cota -9.00 m sobre una banqueta de escollera de espesor variable.



4.3. Bloques de hormigón

En la alineación del Muelle 11, continúa un muro continuo de bloques de hormigón en masa que descansan sobre una banqueta de escollera de 2.00 m de espesor cimentada a la cota -11.00 m.

En este tramo, al estar ya construido y está pendiente de una renovación posterior, se ha proyectado un recrecio de la viga cantil hasta llegar a la cota de +2.60 m exigido por la Autoridad Portuaria de Alicante (APA).



4.4. Explanada

Con el cierre producido por los tramos anteriormente descritos, se proyecta una explanada de aproximadamente 4.350 m² que permite ampliar la zona destinada a mercancías del Muelle 13.

5. CRITERIOS DE DISEÑO

En el Anejo Nº1 se describen y justifican las bases seguidas para la selección de alternativas y el dimensionamiento de la superestructura, en base a la normativa que se enumera al final de dicho documento.

5.1. Parámetros generales del estudio

- **Carácter general:**
 - o Índice de Repercusión Económica (IRE) según R.O.M. 0.0 → r₂ Medio
 - o Índice de Repercusión social y Ambiental (ISA) según R.O.M. 0.0 → s₂ Bajo
- **Carácter operativo:**
 - o Índice de Repercusión Económica Operativa (IREO) según R.O.M. 0.0 → r_{0,3} Alto
 - o Índice de Repercusión social y Ambiental Operativa (ISAO) según R.O.M. 0.0 → s_{0,1} No Sig.
- **Vida útil del muelle** según R.O.M. 2.0-11 → 25 años
- **Fiabilidad frente a ELU** según R.O.M. 2.0-11 → Probabilidad de fallo conjunta = 0.10

- **Fiabilidad frente a ELS** según R.O.M. 2.0-11 → Probabilidad de fallo conjunta = 0.30
- **Período de retorno** según R.O.M. 2.0-11 → 238 años
- **Método de verificación de modo de fallo** Métodos de Nivel I

5.2. Parámetros de proyecto

- **Nivel de referencia** Cero del Puerto de Alicante
- **Cota de coronación del Muelle** +2.60 m
- **Parámetros del terreno** según Anejo Nº2 y R.O.M. 0.5-05
- **Densidad del aire** ρ_a=1,23 kg/m³
- **Densidad del agua** ρ_w=1030 kg/m³
- **Viscosidad cinemática del agua** ν=1,1·10⁻⁶ m²/s

5.3. Acciones a considerar

- **Agente oscilaciones marinas** según R.O.M. 2.0-11 → Despreciable
- **Agente viento**
 - o Régimen medio según R.O.M. 0.4-95 y datos red SIMAR
 - o Régimen extremal según R.O.M. 0.4-95 y R.O.M. 2.0-11
- **Agente sísmico** según NCSE-02 → a_b = 0,14-g
- **Buque de cálculo:** Tipo RO-RO
 - o Eslora total: 213 m
 - o Eslora entre perpendiculares: 197 m
 - o Manga: 28.7 m
 - o Puntal: 23.9 m
 - o Calado en plena carga: 10.5 m
 - o TPM: 15000 t
 - o Área transversal emergida, máx: 891 m²
 - o Área longitudinal emergida, máx: 3880 m²
- **Acciones de uso y explotación del muelle**
 - o Sc. de estacionamiento y de almacenamiento
 - Sobrecarga de operación según R.O.M. 2.0-11 → 30 KN/m²
 - Sobrecarga de almacenamiento según R.O.M. 2.0-11 → 60 KN/m²

- Sobrecarga de Equipos de Manipulación de mercancías según R.O.M. 2.0-11
 - Movilidad restringida Sin uso
 - Movilidad no restringida Grúa móvil s/neumáticos 250/35
 - Equipos auxiliares Carretilla elevadora frontal de 300 KN
- Atraque y amarre

5.4. Procedimiento de verificación

- Modos de fallo adscritos a ELU
 - Estabilidad frente a deslizamiento de la superestructura.
 - Estabilidad frente a vuelco de la superestructura.
 - Resistencia estructural del hormigón armado.
- Modos de fallo adscritos a ELS
 - Fisuración del hormigón.
- Criterios de combinación de acciones según R.O.M. 0.5-05
 - Combinación fundamental o característica:

$$\gamma_g G + \gamma_{q,1} Q_1 + \sum \psi_{0,i} \gamma_{q,i} Q_i$$

- Combinación sísmica

$$G + S + \sum \psi_{2,i} Q_i$$

- Combinaciones accidentales:

$$G + A + \psi_1 Q_1 + \sum \psi_{2,i} Q_i$$

6. GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

Se ha realizado un estudio geotécnico en la zona de la obra el cual se puede encontrar en el Anejo N°2 de este documento.

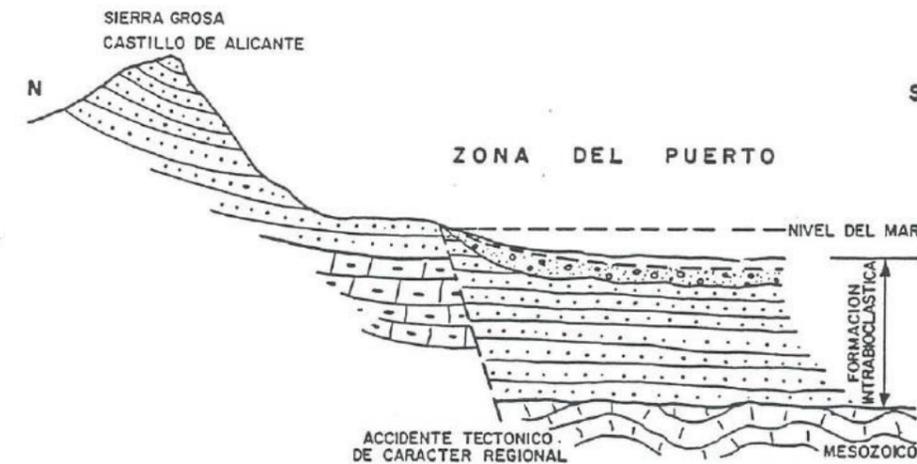
El área de estudio se encuentra desde el punto de vista geológico, sobre las formaciones postmanto pertenecientes en su totalidad al Terciario Superior de origen marino y, cubiertos por depósitos más recientes de edad cuaternaria.

El Puerto de Alicante se encuentra situado al pie de un escalón tectónico de naturaleza direccional-gravitatorio, cubierto en su mayoría por depósitos cuaternarios recientes y constituido fundamentalmente por sedimentos de ramblas (conglomerados, arenas y lodos en superficie, estos últimos producidos por la sedimentación existente dentro del recinto portuario). Por debajo es muy probable la existencia de materiales de edad Helveciense, constituidos por areniscas intrabioclásticas y calizas arenosas fosilíferas de colores amarillentos e idénticas

características a las formaciones existentes en Sierra Grosa (Castillo de Santa Barbara) y las existentes en Cabo de Huertas y Lomas del Faro, y de edad Tortoniense en forma de facies margosa y molásica.

Todas estas formaciones sirven de cubierta al auténtico sustrato mesozoico, constituidas por depósitos triásicos y jurásicos fundamentalmente.

En un perfil interpretativo N-S se representa la disposición general de los materiales en la zona:



Como sondeo representativo de la zona de estudio, por ser el más próximo, se toma el S-9 de la campaña de 1982; siendo, además, éste, consistente con los terrenos encontrados en el S-11, próximo también a la alineación del Muelle 13.

6.1. Fangos

Según los informes previos, estos fangos son el nivel superficial que se encuentran en los sondeos marinos y está compuesto por arenas limosas de color oscuro con abundante materia orgánica y con escasa o nula plasticidad.

En la zona de la obra es de esperar que la mayoría de estos fangos, si no en su totalidad, hayan sido eliminados por dragados anteriores realizados para las obras de ampliación del Puerto.

6.2. Arcillas

Se trata de arcillas de baja plasticidad, CL, con porcentaje de finos que pasan por el tamiz #200 comprendidos entre 62.3% y 98.4%.

El triaxial realizado en laboratorio indica un ángulo de rozamiento interno en tensiones efectivas de $\phi' = 23.4^\circ$ y una cohesión efectiva de $c' = 0.32 \text{ kg/cm}^2$.

No se pudo realizar compresión simple ni triaxial UU.

6.3. Gravas y arenas

Se trata de suelos granulares, en todos los casos son no plásticos, y que por lo tanto se le puede atribuir un ángulo de rozamiento interno (con cohesión nula) en función de N (SPT).

Adoptando por lo tanto el valor medio y redondeando a la baja se propone para las arenas y gravas $\phi' = 38^\circ$.

6.4. Arenisca y arenisca conglomerática

Constituyen la base o apoyo de los materiales descritos en los niveles anteriores.

Se han detectado, en las numerosas campañas realizadas en la zona, dos tipos: una arenisca de grano fino compacta y resistente, y un conglomerado o arenisca conglomerática poco cementada en superficie, con partículas de tamaño medio de naturaleza caliza y silíceas.

Los datos, a modo de resumen, son los valores descritos en la siguiente tabla:

Terreno	Cotas (m)	Espesor (m)	Densidad (γ) t/m ³	Densidad saturada (γ_{sat}) t/m ³	Rozamiento interno (ϕ)	Cohesión q_u (kPa)
Fangos	-9.50 a -11.00	2.50	-	1.60	Corto Plazo: 0° Largo Plazo: 23°	7 0
Arcillas	-11.00 a -16.00	5.00	1.81	2.11	Corto Plazo: 0° Largo Plazo: 23°	100 16
Gravas y arenas	-16.00 a -22.50	6.50	1.70	2.00	38°	0
Areniscas y areniscas conglomeráticas	variable	-	2.42	-	-	-
Escollera	variable	2.00	1.80	2.10	40°	20

Estos datos son la conclusión de todos los datos ofrecidos por los distintos estudios geotécnicos realizados con anterioridad y la información añadida que surge de los ensayos realizados para la obra. Otros datos se han extraído de tablas de valores normalizados de las distintas ROM (Recomendaciones de Obras Marítimas).

En el Anejo Nº2, se puede observar un esquema de las capas de distintos materiales en cada uno de los tramos que componen el muelle.

7. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Con el fin de obtener la solución óptima, como parte de los trabajos realizados en este estudio se ha realizado un estudio de alternativas. En este estudio se han planteado, analizado, comparado y valorado tres posibles soluciones a la superestructura en función de la tipología de defensa a emplear, llegando finalmente a la selección de la alternativa óptima. El estudio de alternativas se incluye en el Anejo Nº 3 de este trabajo.

7.1. Cargas de atraque

- Coeficientes según R.O.M. 2.0-11 y 0.2-90
 - o Coeficiente de bloque $C_b=0.60$

- o Coeficiente de masa hidrodinámica $C_m=1.10$
- o Coeficiente de excentricidad $C_e=0.63$
- o Coeficiente de configuración del atraque $C_c=0.80$
- o Coeficiente de rigidez del sistema de atraque $C_s=1.00$
- o Coeficiente geométrico del buque $C_g=0.95$
- Desplazamiento a plena carga $\Delta=36.688 \text{ t}$
- Velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto
 - o Condiciones climáticas favorables $V_b=0.10 \text{ m/s}$
 - o Condiciones climáticas desfavorables $V_b=0.17 \text{ m/s}$
- Energía cinética
 - o Condiciones climáticas favorables $E_b=20.59 \text{ t}\cdot\text{m}$
 - o Condiciones climáticas desfavorables $E_b=59.51 \text{ t}\cdot\text{m}$
- Energía a absorber
 - o Condiciones climáticas favorables $E_{fi}=9.86 \text{ t}\cdot\text{m}$
 - o Condiciones climáticas desfavorables $E_{fi}=28.5 \text{ t}\cdot\text{m}$

En condiciones extraordinarias el sistema de defensas deberá ser capaz de absorber una energía igual a 1.5 veces la obtenida.

Condiciones favorables:

$$E = 9.86 \times 1.5 = 14.79 \text{ t} \cdot \text{m}$$

Condiciones moderadas:

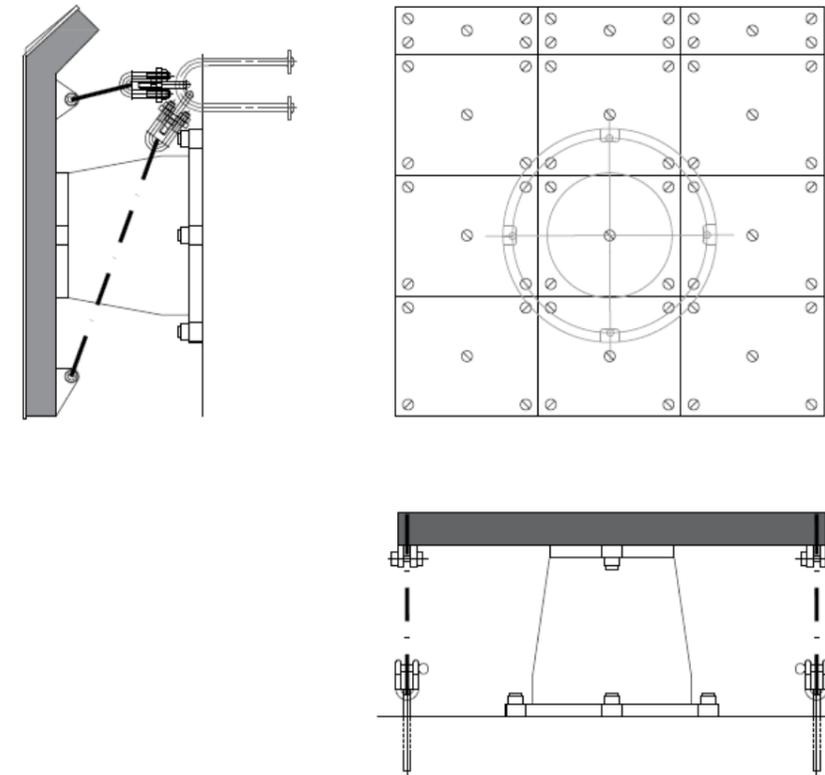
$$E = 28.5 \times 1.5 = 42.75 \text{ t} \cdot \text{m}$$

Por lo que el sistema de defensas tendrá que absorber al menos una energía de **42.75 t·m (427.5 KN·m)**.

7.2. Alternativas

En el estudio de alternativas se han comparado tres tipos de defensas:

- Tipo I: Defensa cilíndrica.
 - o Modelo 1300-650 de grado A
 - o Energía absorbida E=555 KN·m
 - o Reacción R=1920 KN
- Tipo II: Defensa de escudo de estructura cilíndrica.
 - o Modelo SC-1150 de calidad B
 - o Energía absorbida E=477 KN·m
 - o Reacción R=945 KN
- Tipo III: Defensa de escudo de estructura troncocónica.
 - o Modelo TCN 900 de calidad A
 - o Energía absorbida E=438 KN·m
 - o Reacción R=936 KN



Defensa elegida. TCN 900 de calidad A.

7.3. Comparativa de alternativas

Se ha asignado puntuaciones de 1 a 3 puntos con el fin de clasificar estas alternativas, y se ha ponderado cada una de las características en función de la importancia, con lo que la propuesta con menor puntuación es la mejor alternativa.

Alternativa	Dificultad		Precio		Reacción		Dimensionamiento		TOTAL
	Punt.	Pon.	Punt.	Pon.	Punt.	Pon.	Punt.	Pon.	
Peso	-	1	-	2	-	5	-	5	
Tipo I. Defensa cilíndrica	1	1	3	6	3	15	3	15	37
Tipo II. Defensa de escudo SC	3	3	2	4	2	10	1	5	22
Tipo III. Defensa de escudo TCN	3	3	1	2	1	5	1	5	15

Por lo tanto, la alternativa elegida es la **Tipo III defensa de escudo TCN 900 de calidad A.**

Defensa	E (t·m)	R (t)
TCN 900	43.8	93.6

8. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

8.1. Geometría de la viga cantil

La estructura del cantil se ejecuta de hormigón armado, con cota de coronación +2.60 m y la sección propuesta está formada por dos secciones tipo diferentes:

- Sección sin defensa.

La sección propuesta está compuesta por un ancho de 9.00 m con un voladizo de 0.50 m y un canto de 1.10 m, ya que la cota de coronación es de +2.60 m y la cota de los cajones es de +1.50.

10. VALORACIÓN ECONÓMICA

En el Anejo N°5 del presente estudio, se ha realizado una valoración económica de la propuesta realizada y como resumen se ha obtenido la siguiente cuantía económica dividida en capítulos:

Capítulo	Total
1. SUPERESTRUCTURA	144,079.57 €
2. EQUIPAMIENTO DEL MUELLE	70,138.34 €
Valoración total	214,217.91 €

De lo que se obtiene:

Valoración total			214,217.91 €
Gastos generales	13	%	27,848.33 €
Beneficio industrial	6	%	12,853.07 €
Valoración sin IVA			254,919.31 €
IVA	21	%	53,533.06 €
Valoración FINAL			308,452.37 €

Por lo que, como conclusión, se obtiene una valoración final de TRESCIENTOS OCHO MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS CON TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS (308,452.37 €).

11. NORMATIVA DE APLICACIÓN

Para la redacción del presente estudio se han utilizado las siguientes Normas y Recomendaciones:

- R.O.M. 0.0-01: Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- R.O.M. 2.0-11: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de obras de atraque y amarre.
- R.O.M. 0.2-90: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- R.O.M. 0.3-91: Recomendaciones para acciones climáticas I: Oleaje.
- R.O.M. 0.4-95: Recomendaciones para acciones climáticas II: Viento.
- R.O.M 0.5-05: Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- R.O.M. 3.1-99: Recomendaciones para el proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación.

- EHE-08: Instrucción de Hormigón Estructural.
- NCSE-02: Norma de Construcción Sismorresistente.
- Eurocódigo 2. Proyectos de estructuras de hormigón.

Valencia, Septiembre de 2018

El autor del TFG

Fdo.: Francisco David García Brook