

ANEJOS DE LA MEMORIA

Índice de Anejos

ANEJO 1: DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA

ANEJO 2: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

ANEJO 3: TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

ANEJO 4: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

ANEJO 5: CLIMA MARÍTIMO

ANEJO 6: ESTUDIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

ANEJO 7: ESTUDIO DE SOLUCIONES DE LAS OBRAS DE ABRIGO

ANEJO 8: DIMENSIONAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

ANEJO 9: ALTERNATIVA ELEGIDA

ANEJO 10: PROCESO CONSTRUCTIVO

ANEJO 11: VALORACIÓN ECONÓMICA

ANEJO 12: PROGRAMA DE TRABAJOS

ANEJO 13: ODS (OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 1: DOCUMENTACIÓN FOTOGRAFICA



Índice

1. OBJETO	3
2. REPORTAJE FOTOGRÁFICO	4

Índice de Imágenes

Imagen 1. Vista aérea del puerto (Fuente: Google Earth).	4
Imagen 2. Pantalán (Fuente: Elaboración Propia).	4
Imagen 3. Contradique (Fuente: Elaboración Propia).	5
Imagen 4. Aparcamiento de bicis (Fuente: Elaboración Propia).	5
Imagen 5. Gasolinera (Fuente: Elaboración Propia).	6
Imagen 6. Muelle (Fuente: Elaboración Propia).	6
Imagen 7. Zona de paseo sobre el dique (Fuente: Elaboración Propia).	7
Imagen 8. Salida del club náutico (Fuente: Elaboración Propia).	7
Imagen 9. Faro del Grao de Gandía (Fuente: Elaboración Propia).	8
Imagen 10. Grúa del muelle sur (Fuente: Elaboración Propia).	9
Imagen 11. Tinglados del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración Propia).	9
Imagen 12. La Lonja de Gandía (Fuente: Elaboración Propia).....	10
Imagen 13. Parking del puerto deportivo (Fuente: Elaboración Propia).	10
Imagen 14. Bloques de hormigón del dique (Fuente: Elaboración Propia).	11
Imagen 15. Ancla de barco mercante (Fuente: Elaboración Propia).	11

1. OBJETO

El objeto de este anejo es mostrar el estado actual del puerto a partir de una serie de fotografías que fueron sacadas el 5 de julio de 2023.

Con este reportaje fotográfico permitirá tener una sensación mejor del estado físico real.

2. REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Imagen 1. Vista aérea del puerto (Fuente: Google Earth).

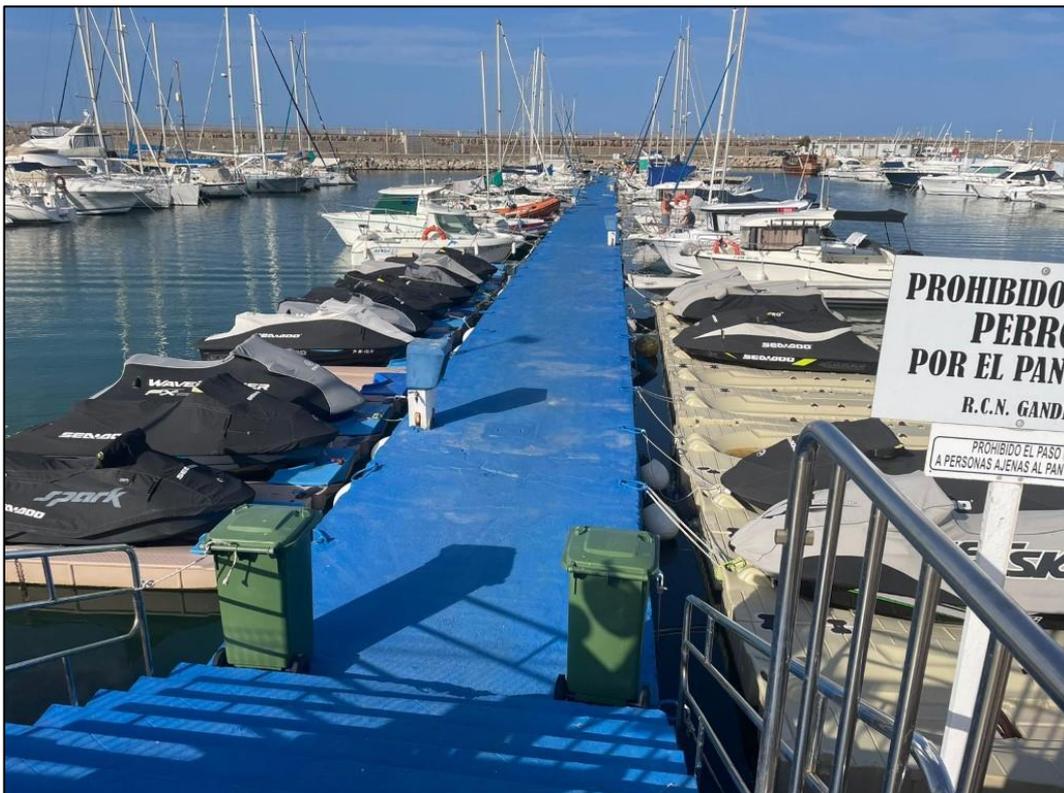


Imagen 2. Pantalán (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 3. Contradique (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 4. Aparcamiento de bicis (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 5. Gasolinera (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 6. Muelle (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 7. Zona de paseo sobre el dique (Fuente: Elaboración Propia).

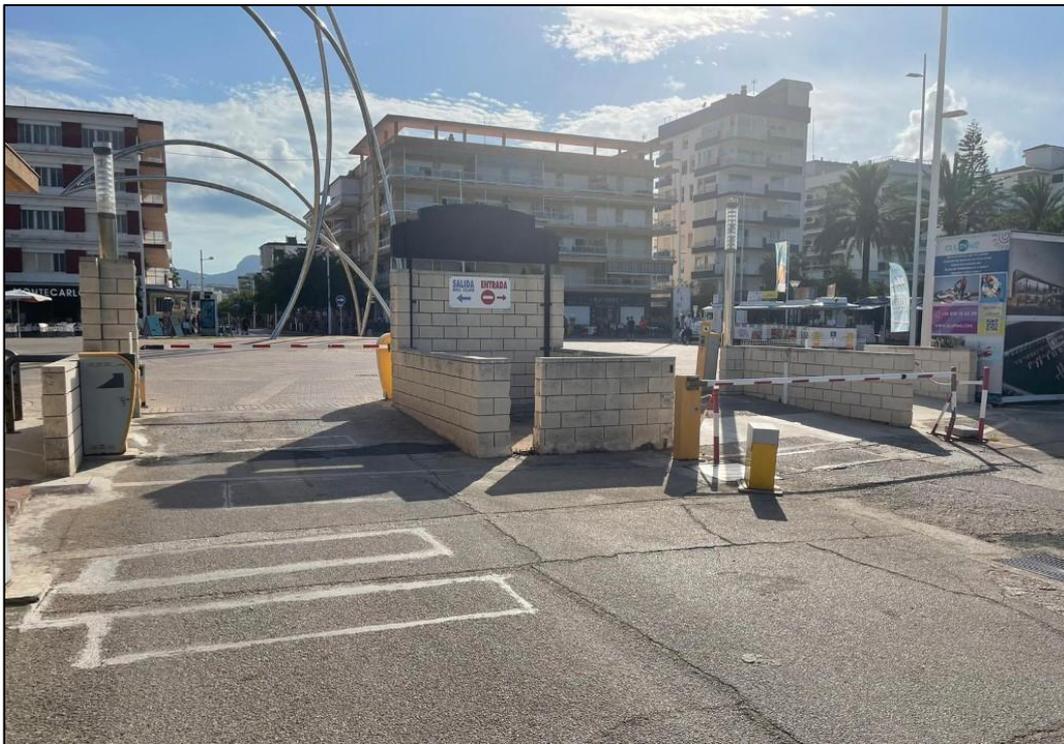


Imagen 8. Salida del club náutico (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 9. Faro del Grao de Gandía (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 10. Grúa del muelle sur (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 11. Tinglados del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 12. La Lonja de Gandía (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 13. Parking del puerto deportivo (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 14. Bloques de hormigón del dique (Fuente: Elaboración Propia).



Imagen 15. Ancla de barco mercante (Fuente: Elaboración Propia).



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 2: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL



Índice

1. OBJETO.....	3
2. LOCALIZACIÓN	4
3. ACCESOS.....	5
4. ANTECEDENTES.....	6
5. ESTADO ACTUAL	7
5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PUERTO	8

Índice de Imágenes

Imagen 1. Ubicación de Gandía en España (Fuente: Wikipedia).....	4
Imagen 2. Ubicación de Gandía en la provincia de Valencia (Fuente: Wikipedia)	4
Imagen 3. Accesos al Puerto de Gandía por carretera y ferrocarril (Fuente: Valenciaport)	6
Imagen 4. Puerto de Gandía en 1911 (Fuente: Wikipedia).	6
Imagen 5. Situación actual del Puerto de Gandía (Fuente: Google Earth).	8

Índice de Tablas

Tabla 1. Situación del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración propia).	5
Tabla 2. Numero de amarres en función de la eslora (Fuente: Elaboración propia).	9

1. OBJETO

El presente anejo tiene como objetivo situar geográficamente el puerto de Gandía dentro del territorio español. Además, se detallarán sus principales características, como su ubicación, actividades, infraestructuras, etc.

También se revisarán algunos antecedentes históricos para comprender mejor el contexto actual en el que se encuentra el puerto. Por último, se expondrá la situación actual del puerto y las razones que motivan la construcción de un nuevo contradique

2. LOCALIZACIÓN

El puerto de Gandía se encuentra ubicado en la ciudad de Gandía, situada en la comarca de La Safor dentro de la Comunidad Valenciana, España. Gandía cuenta con una población de 75,911 habitantes según el padrón municipal de 2022 y una superficie de 60,8 km². La ciudad se encuentra aproximadamente a 65 km al sur de Valencia.



Imagen 1. Ubicación de Gandía en España (Fuente: Wikipedia).



Imagen 2. Ubicación de Gandía en la provincia de Valencia (Fuente: Wikipedia)

El puerto está delimitado por la playa de Gandía al norte y por el río Serpis al sur. Sus coordenadas y carta náutica también se proporcionan en la siguiente tabla:

Situación del puerto	
Latitud	38º 55' 00" N
Longitud	00º 05' 00" W
Carta náutica	475

Tabla 1. Situación del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración propia).

3. ACCESOS

Acceso por carretera:

El puerto de Gandía se conecta a la red de carreteras a través de la N-337, que lo une a la N-332. Desde la N-332 se accede a la autopista AP-7 (Autopista del Mediterráneo) mediante los enlaces de Xeraco (norte) y Oliva (sur).

Además de estos enlaces, el puerto también está comunicado con su área de influencia (hinterland) a través de la CV-60, que va desde Ollería hasta el Grao de Gandía. En las proximidades de Ollería, la CV-60 enlaza con la autovía A-7, y posteriormente en Llanera de Ranes con la A-35 en dirección a Almansa, conectando así con las zonas del interior de la península

Acceso por ferrocarril:

El puerto de Gandía cuenta con una infraestructura ferroviaria interior que se conecta directamente a la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG) a través de la estación de Gandía. Esta línea férrea discurre paralela a los muelles Frutero y Sur, pero actualmente no se encuentra en servicio.



Imagen 3. Accesos al Puerto de Gandía por carretera y ferrocarril (Fuente: Valenciaport)

4. ANTECEDENTES

El 30 de abril de 1883, Rafael Yagüe planificó el puerto de Gandía, colocándose la primera piedra de su construcción el 23 de junio de 1886. Tres años más tarde, la propiedad del puerto fue transferida a la compañía británica "The Alcoy & Gandía Railway and Harbour Company Limited". Esta empresa amplió las obras del puerto y logró convertir a Gandía en el segundo puerto frutero más importante de España, llegando a manejar un volumen de 250.000 toneladas en 1934.



Imagen 4. Puerto de Gandía en 1911 (Fuente: Wikipedia).

Después de la Segunda Guerra Mundial, en 1946 el Estado español compró el puerto de Gandía y lo declaró "de interés general" debido a la disminución de su actividad portuaria.

En 1958, el puerto de Gandía registraba exportaciones de naranjas en diversas presentaciones a 13 países europeos como Alemania, Francia, Italia, entre otros.

En 1961, el puerto pasó a formar parte de la Comisión Administrativa Grupo de Puertos de Valencia. Durante la década de 1960-1970, se amplió el muelle de la zona norte en 410 metros. Gracias a la iniciativa de empresas privadas como Navarro y Boronad, se diversificó el tráfico de mercancías, incluyendo papel y madera, en paralelo al auge del transporte por camión para la distribución de frutas y verduras a Europa.

En 1985, la Autoridad Portuaria de Valencia asumió la gestión del puerto de Gandía, realizando importantes mejoras e impulsando el tráfico de productos como bobinas, pasta de papel, madera importada y productos agrícolas de la zona.

5. ESTADO ACTUAL

El puerto de Gandía es actualmente gestionado por la Autoridad Portuaria de Valencia y continúa desempeñando un papel relevante en la exportación de productos agrícolas locales como cítricos, frutas y hortalizas. Además, ha diversificado sus tráficos de mercancías e implementado mejoras en las infraestructuras para el manejo de papel y madera importada, los cuales representaron el 44% del peso total de los tráficos portuarios en 2022.



Imagen 5. Situación actual del Puerto de Gandía (Fuente: Google Earth).

En los últimos años, el puerto de Gandía ha recibido diversas mejoras e inversiones para modernizar sus infraestructuras y adaptarlas a las necesidades actuales:

Acondicionamiento del Dique Norte

La Autoridad Portuaria de Valencia y el Ayuntamiento de Gandía llegaron a un acuerdo para mejorar la accesibilidad ciudadana al Dique Norte del puerto. El proyecto, ejecutado por la Autoridad Portuaria, incluyó la construcción de un paseo peatonal de 1.040 metros de longitud a lo largo del dique, utilizando materiales resistentes a la corrosión y elementos como mobiliario urbano, barandillas y un pavimento de trencadís de mármol. La inversión total fue de 1,4 millones de euros y se completó en mayo de 2017.

Nuevo Acceso por Carretera

Se construyó un nuevo acceso sur por carretera al puerto, con dos esclusas de entrada y dos de salida para controlar el tráfico. Una de las esclusas tiene dimensiones suficientes para permitir el paso de vehículos de transporte especial de gran longitud. También se ejecutó una glorieta en la intersección de los viales de entrada y salida con el vial interior del puerto, así como un muro de contención, cerramiento y acceso peatonal desde el barrio de Venecia. La inversión ascendió a 1,9 millones de euros y las obras finalizaron en julio de 2020.

Mejora de la Capacidad Portante del Muelle Serpis

Con el objetivo de permitir la operación de equipos de mayor envergadura, se llevaron a cabo obras de mejora estructural en todo el Muelle Serpis, de 319 metros de longitud. Estas consistieron principalmente en la sustitución de la viga cantil original por una de hormigón armado de mayores dimensiones, que servirá de apoyo a los nuevos equipos de carga y descarga. La inversión alcanzó los 2 millones de euros y se concluyó en octubre de 2021.

5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PUERTO

El puerto de Gandía se caracteriza por las siguientes particularidades físicas:

Superficies del puerto:

- Superficie terrestre: 15.000 m²
- Superficie abrigada: 26.761 m²

Obras de abrigo:

- Todas las obras de abrigo son de tipología en talud
- Longitud del dique (escollera natural salvo los últimos 300 metros que son de hormigón): 1.100 m
- Longitud del contradique (escollera natural): 420 m

Dársena deportiva:

- Calado: entre 1,8 m y 3,5 m
- Ancho de la bocana: 30 metros

Dispone de pantalanes fijos de hormigón de 2,6 metros de ancho y longitud variable, con muertos anclados al fondo para el amarre de embarcaciones. El número de amarres varía en función de la eslora de las embarcaciones, tal como se muestra en la siguiente figura:

Eslora	Nº Amarres	Superficie
7 m	76	1.596 m ²
10 m	118	3.721 m ²
12 m	28	1.506 m ²
15 m	2	132 m ²
20 m	39	4.023,6 m ²
22 m	2	299,2 m ²
Amarres exteriores	36	-

Tabla 2. Numero de amarres en función de la eslora (Fuente: Elaboración propia).

La dársena deportiva cuenta con un total de 301 amarres distribuidos en función de la eslora de las embarcaciones, ocupando una superficie total de 11.277,2 m².



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 3: TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA



Índice

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	TOPOGRAFÍA	3
3.	BATIMETRÍA	3

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se proporciona información detallada sobre la batimetría y topografía del área que comprende el puerto de Gandía y sus alrededores. Se incluyen datos precisos sobre las profundidades del agua y la configuración del fondo marino dentro de los límites portuarios. Asimismo, se presenta información relevante acerca de la topografía de la zona contigua al puerto.

2. TOPOGRAFÍA

Según la información proporcionada en los resultados de búsqueda, para obtener una definición topográfica precisa de la zona del puerto de Gandía, se requeriría realizar un levantamiento topográfico detallado en el campo. Sin embargo, debido a la falta de recursos, no ha sido posible llevar a cabo dicho levantamiento.

No obstante, se ha logrado obtener información topográfica relevante del área estudiada. Los planos proporcionan una visión general de la topografía de la zona, incluyendo detalles valiosos sobre la configuración del terreno y las características de las instalaciones portuarias. Estos planos se encuentran en el “Documento N°2: Planos2”, el cual complementa este informe.

En resumen, aunque no se ha realizado un levantamiento topográfico completo, la información disponible en los planos facilitados permite obtener una visión general de la topografía del puerto de Gandía y su entorno.

3. BATIMETRÍA

Para obtener una definición precisa de las cotas y del estado del fondo marino en cada punto del puerto de Gandía, lo ideal sería llevar a cabo una campaña exhaustiva de prospecciones batimétricas. Sin embargo, debido a la falta de recursos disponibles, no ha sido posible realizar dicha campaña en este caso.

En su lugar, se ha recurrido a información de otras fuentes para suplir esta necesidad. Es importante tener en cuenta que los datos de estos planos son solo orientativos. Además, es difícil establecer un plano que represente las profundidades de manera precisa en todos los momentos del año. Por lo tanto, estos datos se utilizan como base para los cálculos necesarios, considerando las limitaciones mencionadas.

Los planos referidos se encuentran en el “Documento N°2: Planos”, que complementa este informe.

En resumen, aunque no se ha realizado una campaña batimétrica propia, se ha recurrido a información de estudios previos para obtener una aproximación de las cotas y el estado del fondo marino en el puerto de Gandía. No obstante, es crucial considerar las limitaciones de esta información y su carácter meramente orientativo.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 4: ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTÉCNICO



Índice

1.	OBJETO	3
2.	GEOLOGÍA	4
3.	GEOTÉCNIA	5
	3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	6
	3.2. FORMACIONES SUPERFICIALES Y SUSTRATO	6
	3.3. CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	7
	3.4. CARÁCTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	7
	3.5. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	7
	3.6. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	8
4.	MAPAS	8

Índice de Imágenes

Imagen 1. Mapa geológico del puerto de Gandía y alrededores (Fuente: IGME)	4
Imagen 2. Leyenda del mapa geológico (Fuente: IGME).....	5

1. OBJETO

En el presente anejo se exponen las características geológicas y geotécnicas de la zona donde se planea llevar a cabo la ampliación del puerto. La información recopilada proviene de mapas, memorias geológicas y geotécnicas, así como de ensayos realizados en áreas adyacentes. Dado que este estudio tiene un enfoque académico y no se cuenta con los recursos necesarios para realizar los ensayos requeridos directamente en el sitio, se considera que la información obtenida justifica adecuadamente los detalles presentados en este anexo.

Los datos geológicos y geotécnicos proporcionados incluyen información sobre la composición del suelo, la estratigrafía, las propiedades mecánicas del terreno y cualquier otro aspecto relevante para la ampliación del puerto. Si bien los ensayos se realizaron en áreas cercanas y no directamente en el sitio de la ampliación, se considera que esta información es válida y suficiente para respaldar las decisiones y análisis en el estudio académico en cuestión, dadas las limitaciones de recursos.

Es importante tener en cuenta que, en un escenario real, sería necesario llevar a cabo estudios geológicos y geotécnicos exhaustivos en el sitio específico de la ampliación, incluyendo la realización de ensayos in situ y de laboratorio, para obtener información precisa y confiable que permita tomar decisiones informadas sobre el diseño y la ejecución del proyecto.

2. GEOLOGÍA

La información geológica de la zona se encuentra en la Hoja 796 (31-33) Gandía, la cual fue redactada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). En esta hoja se detallan también mapas con la distinta geología que hay en la zona.

“La hoja de Gandía corresponde al extremo nororiental de las alineaciones prebéticas en su interferencia con la costa mediterránea, en el límite de las provincias de Alicante y Valencia. Los relieves estructurales prebéticos representan en esta área ejes de pliegues de orientación próxima a E.-O., en los que las barras de calizas mesozoicas destacan sobre áreas margosas miocenas y cretácicas. Estas alineaciones de relieves son truncadas por las llanuras costeras, ampliamente desarrolladas entre Denia y Gandía, con depósitos cuaternarios que rodean los extremos de los relieves calcáreos y se adentran en las depresiones margosas.”

El Puerto de Gandía está situado en la zona noroeste del mapa perteneciente a la hoja que se va a analizar. En la siguiente imagen se ven los distintos materiales que se encuentran en el puerto y alrededores:

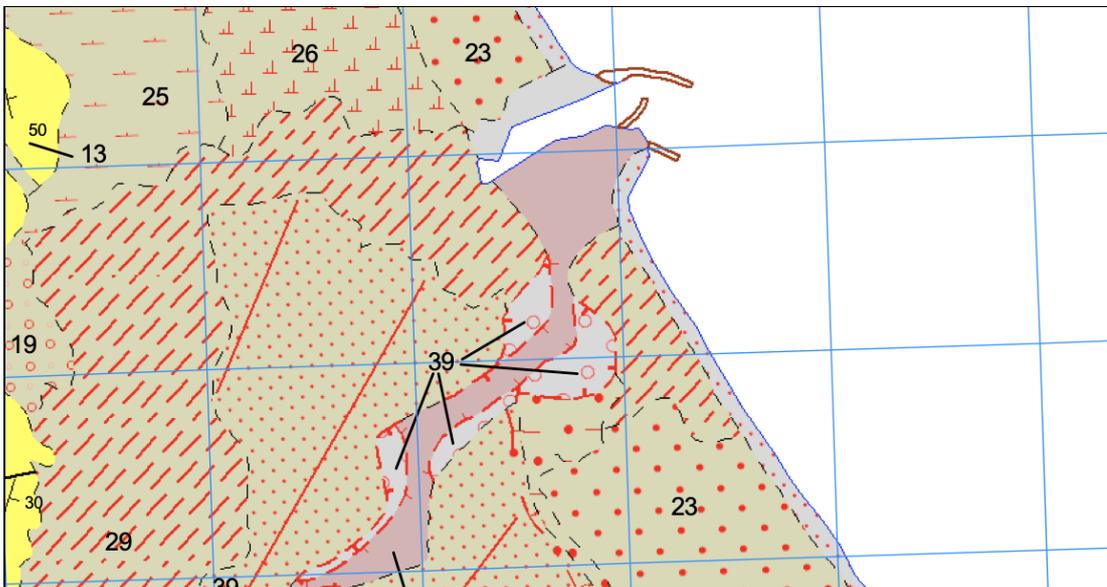


Imagen 1. Mapa geológico del puerto de Gandía y alrededores (Fuente: IGME)

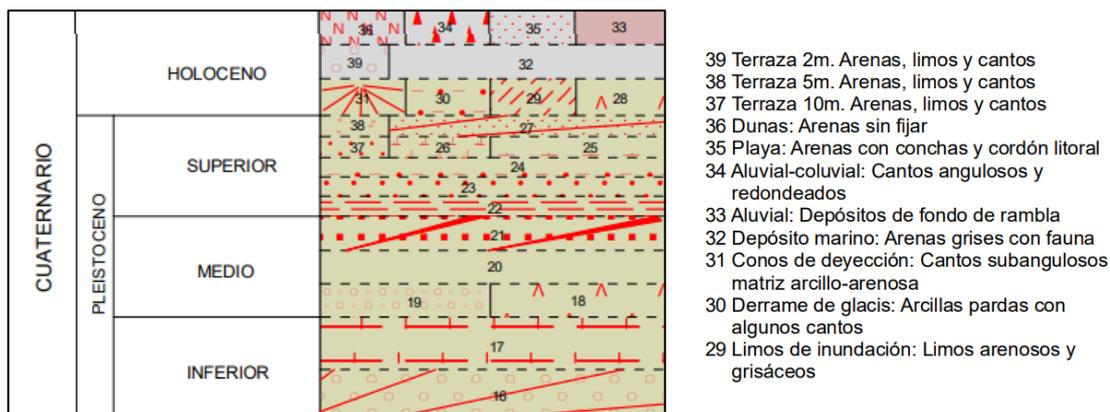


Imagen 2. Leyenda del mapa geológico (Fuente: IGME)

Según se observa en la imagen, los materiales geológicos presentes en el Puerto de Gandía y sus alrededores pertenecen al Holoceno y al Pleistoceno Superior, que a su vez forman parte del período Cuaternario. Los materiales del Cuaternario en esta zona son en su mayoría depósitos continentales que descienden desde los relieves circundantes en suave pendiente hacia el mar.

Más específicamente, los materiales que se encuentran en el Puerto de Gandía son:

- Aluvial (33): Depósitos fluviales formados por gravas, arenas, limos y arcillas transportados y depositados por los ríos y arroyos de la zona.
- Depósito Marino (32): Sedimentos marinos depositados por la acción del mar, como limos, arcillas y arenas finas.
- Playas: Arenas con conchas y cordón litoral (35): Acumulaciones de arena y conchas depositadas por la acción del oleaje y las corrientes marinas, formando las playas y el cordón litoral adyacente al puerto.

Estos materiales cuaternarios rellenan y recubren las formas del relieve preexistente, conformando la geología superficial del Puerto de Gandía y su entorno inmediato.

3. GEOTÉCNIA

Para analizar la geotecnia que tiene el puerto de Gandía se recurrirá a la hoja 8-8/64 (Alcoy) del Mapa Geotécnico General, obtenida de las bases de datos del Instituto Geológico y Minero de España, así como del plano correspondiente.

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Tras haber analizado los documentos correspondientes a la Hoja 8-8/64 (Alcoy), se ha determinado que nuestra ubicación se sitúa en la Región I. Esta región agrupa a todos los materiales considerados blandos o sueltos, y factibles de dar origen a suelos de espesores considerables; su disposición es horizontal o subhorizontal y poseen una tectonización prácticamente nula; el relieve suele ser suave.

La Región I está dividida en los siguientes cinco subgrupos: Área I1, Área I2, Área I3, Área I4 y Área I5. El Puerto de Gandía está situado en el Área I1, la cual incluye la llanura litoral formada por aportes cuaternarios de arena, grava y arcilla, relieve plano y situado adentro de la marjal. Las características generales de esta área son las siguientes:

“Se extiende por la zona Gandía-Oliva, forma la denominada en morfología, llanura litoral, limitando tierra adentro al marjal, cuando se presenta, y si no, a continuación del cordón costero.

La litología está formada a base de gravas y arenas con una proporción de arcilla y limo más o menos fuerte y dispuesto horizontalmente en lentejones con acumulaciones de algunas de las granulometrías principales; el suelo es arcilloso.

La morfología es uniformemente plana, con la ligerísima pendiente hacia el mar (1-2 por ciento), y característica típica es el pleno empleo de la superficie en las plantaciones de naranjos.

Los materiales se comportan como semipermeables con un drenaje superficial dificultado por la morfología, aunque aceptable en general; el nivel freático suele hallarse de 1,5 a 3 m de profundidad, existiendo pozos frecuentemente.

La capacidad de carga no es elevada debido al tipo de suelo vegetal arcilloso, que suele ser potente, y a la presencia de niveles freáticos próximos a la superficie

El aprovechamiento de tipo industrial de los materiales es nulo.”

3.2. FORMACIONES SUPERFICIALES Y SUSTRATO

En este apartado se describen los materiales más o menos sueltos de reciente formación (Formaciones Superficiales) y los materiales ya consolidados (Sustrato). El Área I1 está formada

la Llanura Litoral, la cual está constituida por materiales de relleno, arcillas, gravas, arenas y limos dispuestos horizontalmente, mientras que superficialmente muestran un potente suelo arcilloso.

Poseen baja resistencia mecánica en conjunto, erosionabilidad baja por su morfología plana y fuerte vegetación arbórea, poco permeables y gran aprovechamiento agrícola.

3.3. CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS

Las características litológicas son descritas en una ficha perteneciente a la hoja 8-8/64 (Alcoy) del Mapa Geotécnico General del Instituto Geológico y Minero de España, la cual exhibe una serie de atributos físicos y mecánicos, así como un comportamiento particular frente a los agentes de erosión externa.

En esta área presenta materiales sueltos de gravas y arenas con limos y arcillas en lentejones horizontales. Además, el suelo vegetal es arcilloso y potente, y la resistencia mecánica es baja, al igual que la permeabilidad, también baja.

3.4. CARÁCTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

En este apartado se describe la morfología del suelo que puedan tener una repercusión importante desde el punto de vista geotécnico, para futuras planificaciones de tipo constructivo o de aprovechamiento del terreno.

“Presenta una morfología plana con pendientes del orden del 3 por ciento; los materiales son estables bajo cualquier condición y la capa de tierra vegetal arcillosa es importante.”

3.5. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

En este apartado se definen las condiciones de permeabilidad, drenaje y demás características hidrológicas del área a estudiar que definen un comportamiento geotécnico del terreno, con miras a cualquier aprovechamiento urbano, agrícola o industrial.

“Está formada por materiales en conjunto semipermeables, aunque en profundidad presenten gran permeabilidad en algunas zonas.

El drenaje se efectúa con percolación natural, dada su morfología plana, con nivel freático a escasa profundidad, dando, en general, unas condiciones drenantes aceptables.

En algún punto alejado más bajo pueden producirse encharcamientos ocasionales.

Acuíferos por porosidad intergranular.”

3.6. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

En este apartado se hace una descripción de las características geotécnicas de la zona, más concretamente en cuanto a su capacidad portante, a la posibilidad de aparición de asentamientos apreciables en las estructuras y la posible existencia de otros fenómenos geotécnicos

“Materiales sueltos con un recubrimiento superficial arcilloso potente, lo que determina una capacidad de carga baja (1 a 2 kg/cm²) a media (2 a 4 kg/cm²) en algunas zonas, dependiendo de la profundidad del nivel freático y del espesor de la capa vegetal.

Es posible la aparición de asientos de tipo medio para cargas unitarias medias, estos asientos se producirán lentamente, por los factores litológicos e hidrológicos antes citados.”

4. MAPAS

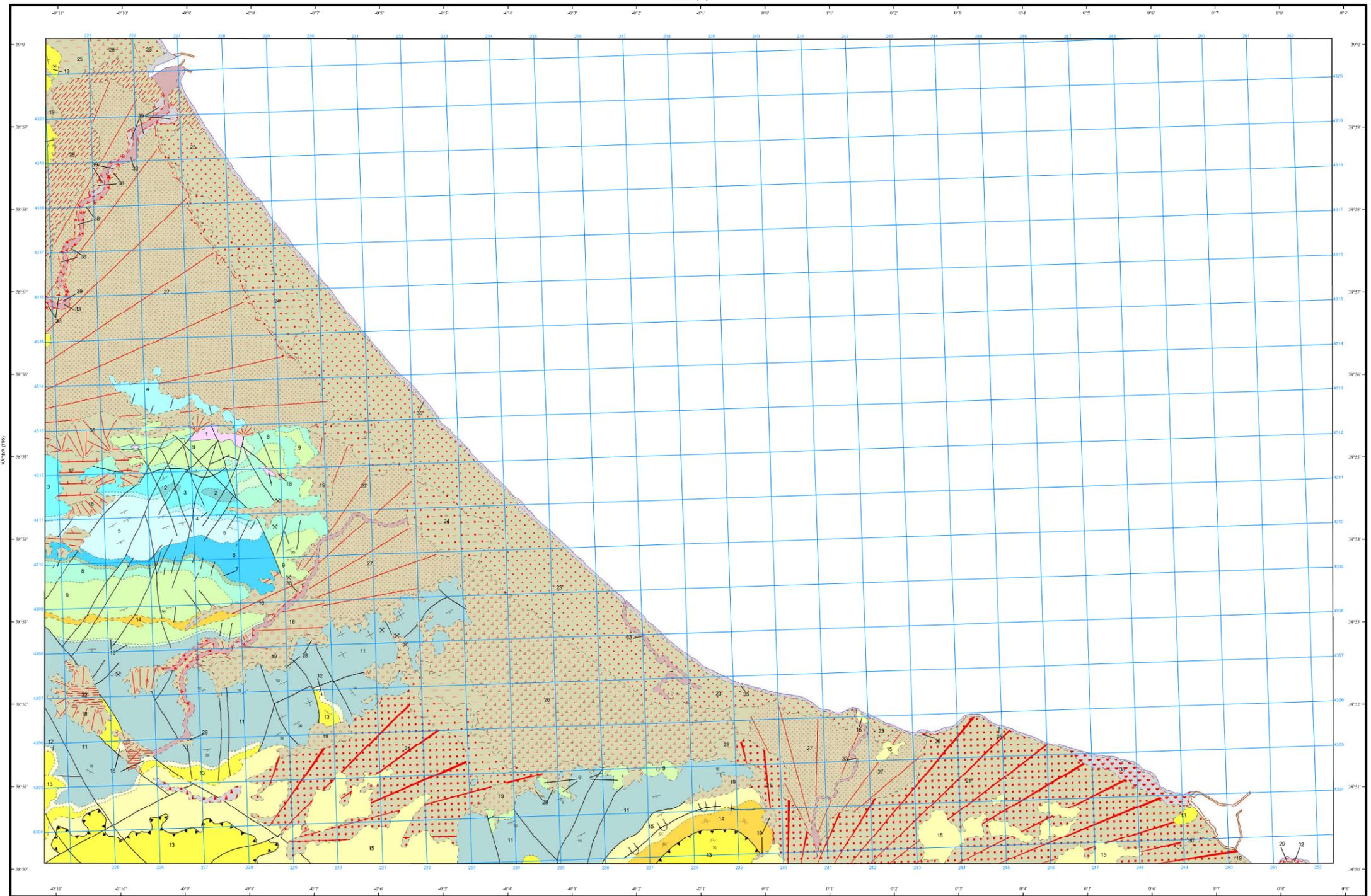
A continuación, se adjuntarán los mapas correspondientes utilizados para realizar el estudio geológico (Hoja 796 (31-33) Gandía) y el estudio geotécnico (Hoja 8-8/64 (Alcoy)):

LEYENDA

CUATERNARIO	HOLOCENO	39 Terraza 2m, Arenas, limos y cantos 38 Terraza 5m, Arenas, limos y cantos 37 Terraza 10m, Arenas, limos y cantos 36 Dunas, Arenas sin fijar 35 Playa, Arenas con conchas y cordón litoral 34 Aluvial-coluvial: Cantos angulosos y redondeados
	SUPERIOR	33 Aluvial: Depósitos de fondo de rambla 32 Depósito marino: Arenas grises con fauna 31 Conos de deyección: Cantos subangulosos matriz arcillo-arenosa
	MEDIO INFERIOR	30 Denarimo de glaciares: Arcillas pardas con algunos cantos 29 Limos de inundación: Limos arenosos y grisáceos 28 Coluvión moderno: Cantos angulosos y arcillas
TERCIA	MIOCENO	27 Abanico aluvial: Arenas arcillosas con cantos redondeados
	OLIGOCENO	26 Depósitos de Albufera: Fangos y turba 25 Limos grises de Albufera: Limos arenosos con gaster 24 Limos oolíticos: Limos grises con "poupées calcáreas" 23 Limos oolíticos: Limos grises con "poupées calcáreas"
CRETÁCICO	SUPERIOR	22 Cubetas de descalcificación: Terra rosa 21 Clásicos de acumulación: Niveles de arcillas y cantos con costras discontinuas
	TURONIENSE	20 Rasa marina: Bancal marino con escaso depósito
	CENOMANIENSE	19 Pie de Monte: Arcillas rojas, cantos de caliza angulosos encostrados superficialmente
	ALBIENSE	18 Coluvión antiguo: Arcillas rojas con cantos heterométricos cementados superficialmente
	APTIENSE	17 Calizas pulverulentas: Calizas harinosas y tobáceas
	BARREMIENSE	16 Manto aluvial antiguo: Conglomerados de cantos de caliza encostrados
JURÁSICO	NEOGOCOMIENSE	15 Margas blancas
	HAUTERIENSE	14 Conglomerados
	VALANGINIENSE	13 Calizas microcristalinas
	BERRIASIENSE	12 Margas con Inoceramus
	PORTLANDIENSE	11 Dolomías masivas
TRIÁSICO	MALM	10 Margas ocreas con Orbitolinas
	OXFORDIENSE	9 Calizas bioherálicas y dolomías 8 Arcillita margosa 7 Calcarenta y psamita 6 Calizas y margas 5 Calizas microcristalinas 4 Dolomías 3 Calizas y margas con Ammonites 2 Dolomías y calizas oolíticas 1 Margas irisadas, yesos y calizas

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

-----	Contacto concordante	-----	Contacto discordante
-----	Contacto mecánico	-----	Terraza 2 m
-----	Terraza 5 m	-----	Terraza 10 m
-----	Antropico	-----	Falla conocida
-----	Falla supuesta	-----	Cabalgamiento conocido
-----	Sinclinal	-----	Sinclinal supuesto
-----	Sinclinal tumbado	-----	Estratificación subhorizontal
-----	Estratificación invertida	-----	Estratificación
-----	Mina activa	-----	Probable cantil fossil



Área de Sistemas de Información Geocientífica

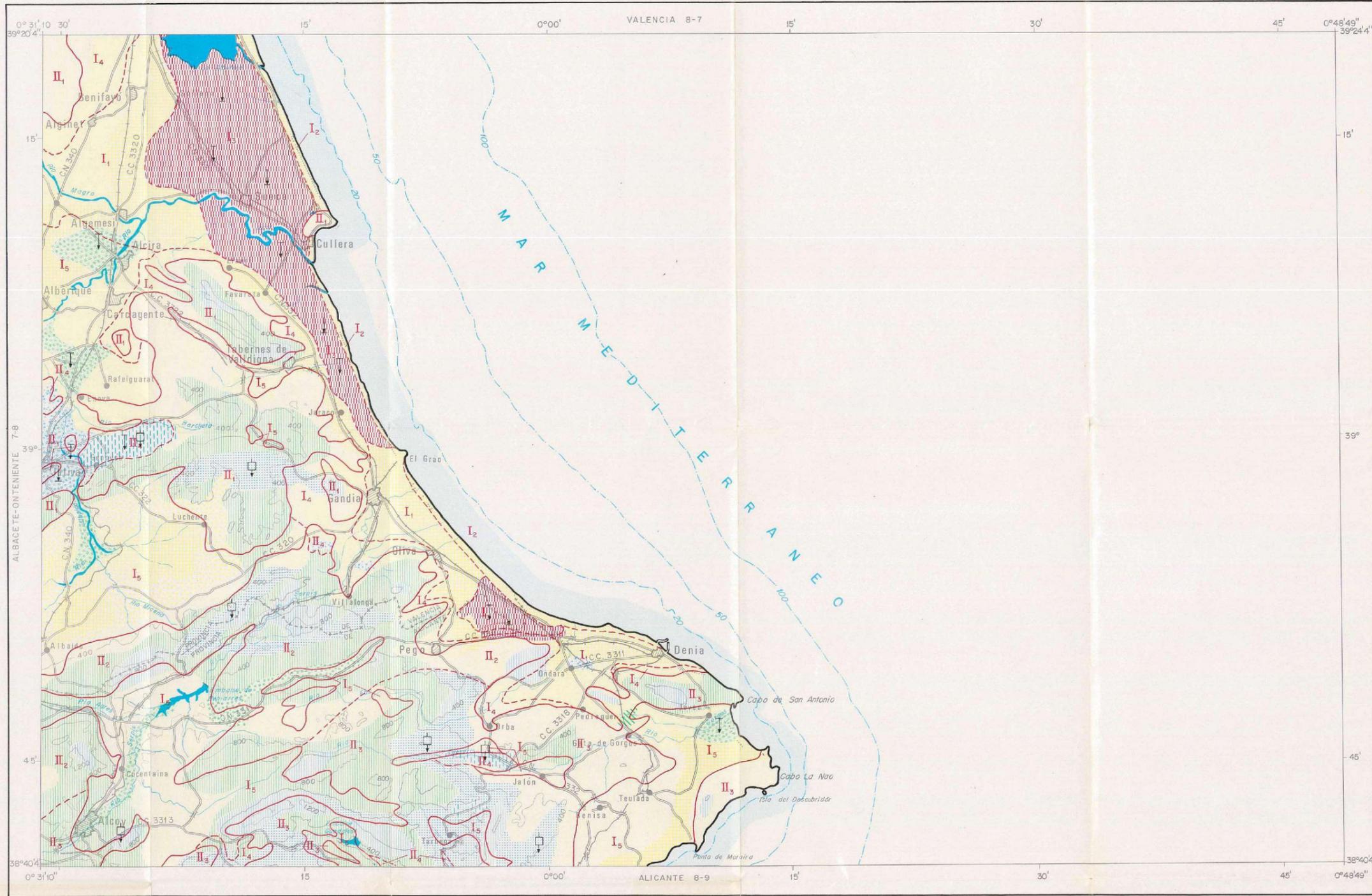
Escala 1:50.000



Proyección y Cuadrícula UTM, Elipsoide Internacional, Huso 31

NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL I.G.M.E.
AÑO DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA: 1973

Autores: J. L. Goy Goy
C. Zazo Cardena
J. de Pedraza Gilanz
R. Vegas Martínez
Dirección y supervisión: J. M. Barón Ruiz de Valtierra (IGME)



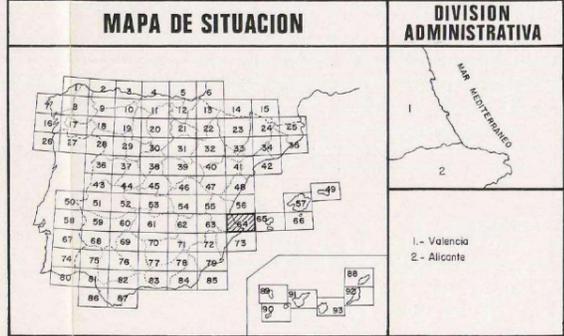
TOPOGRAFIA TOMADA DEL MAPA MILITAR E. 1:200.000

Escala 1:200.000
1:000m 0 5 10 15 20 25 Km.

REGION	AREA	CRITERIOS DE DIVISION Y CARACTERISTICAS GENERALES
I	I ₁ LLANURA LITORAL DE ALUVIONES	Se incluyen los materiales aluvionarios de relleno formados por gravas, arenas, arcillas y limos depositados horizontalmente formando lentejones, suelo arcilloso potente. Semipermeable, con nivel freático próximo a la superficie, acuífera general. Drenaje aceptable a malo. Morfología plana. Capacidad de carga baja a media, posibles asentamientos superficiales, estable.
	I ₂ CORDON LITORAL DE PLAYAS Y DUNAS	Material arenoso mal graduado, fino, influencia de tipo eólico, cordón de dunas de unos 2-3 m. de altura. Permeabilidad alta, nivel freático próximo, posible intrusión marina. Drenaje superficial bueno. Morfología plana. Capacidad de carga baja, asentamientos medios a corto plazo, estable.
	I ₃ ZONA DE MARJALES Y MARISSIMOS ORGANICA	Marjales y marismas pantanosas, arcillas, limos, fangos orgánicos y turba en lentejones. Permeabilidad muy baja, nivel freático superficial, drenaje deficiente. Morfología plana. Capacidad de carga muy baja, asentamientos fuertes, materia orgánica.
	I ₄ ZONAS EN PENDIENTE SIN CLASIFICACION DE TIPO I	Glacia y piedemonte, bolos y gravas con matriz limosa o arcillosa dispuestos desordenadamente. Permeabilidad media, nivel freático profundo, drenaje bueno. Morfología en pendiente uniforme suave. Capacidad de carga media, sin asentamientos, algún posible abarrancamiento.
	I ₅ VALLES INTERIORES Y ZONAS DE TIPO I	Materiales sueltos de arenas y arcillas sobre margas medianamente compactas. Permeabilidad baja, abarrancamientos, drenaje superficial tolerable. Morfología ligeramente movida. Capacidad de cargas medias, sin asentamientos, zonas abarrancadas inestables.
II	II ₁ FORMACIONES CALIZAS JURASICO Y CRETACICO SUPERIORES DE LA CORDILERA IBERICA, IN-CLASIFICADAS	Rocas calizas sanas, con algunas intercalaciones de margas y areniscas. Permeabilidad alta, niveles freáticos profundos, drenaje bueno. Morfología montañosa con pendientes del 15 al 30 por ciento. Capacidad de carga alta, sin asentamientos, estable.
	II ₂ FORMACIONES JURASICO Y CRETACICO SUPERIORES DE INTERFERENCIA IBERICA-BETICA	Rocas de calizas, margas y dolomías, de aspecto muy variado, de masivas a tableadas y rotas. Permeabilidad de alta a media, niveles freáticos profundos, drenaje bueno. Morfología montañosa, con pendientes mayores del 15 por ciento. Capacidad de carga alta, sin asentamientos, zonas inestables.
	II ₃ CRETACICO PALEOGENO BETICO NE-SE	Caliza masiva oligocena; margas, calizas y areniscas cretácicas y flysh. Permeabilidad de alta a media, niveles freáticos profundos, drenaje de bueno a aceptable. Morfología montañosa con pendientes del 15 al 30 por ciento. Capacidad de carga alta, sin asentamientos, inestabilidad casi general.
	II ₄ AFLORAMIENTOS DIAPIRICOS DE YESOS Y ARCILLAS YESIFERAS	Yesos y arcillas yesíferas, triásicas, aflorando en diapiras o a favor de fallas. Permeabilidad casi nula, drenaje deficiente. Morfología ondulada. Capacidad de carga media a baja, asentamientos, inestabilidad general.

CRITERIOS DE CLASIFICACION							
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS	PROBLEMAS "TIPO" EXISTENTES	CONCURRENCIA DE 2 PROBLEMAS "TIPO"		CONCURRENCIA DE 3 PROBLEMAS "TIPO"	CONCURRENCIA DE 4 PROBLEMAS "TIPO"	PROBLEMAS GEOTECNICOS	NOTACION
Muy Favorables	Litológicos	Litológicos y Geomorfológicos	Geomorfológicos e Hidrológicos	Litológicos, Geomorfológicos e Hidrológicos	Litológicos, Geomorfológicos y Geotécnicos (p.d.)	De Capacidad de Carga.	↓
Favorables	Geomorfológicos	Litológicos e Hidrológicos	Geomorfológicos y Geotécnicos	Litológicos, Geomorfológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos, Geomorfológicos y Geotécnicos (p.d.)	De Asientos.	↓
Aceptables	Hidrológicos	Litológicos y Geotécnicos	Geomorfológicos y Geotécnicos	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	Geotécnicos Varios.	↓
Desfavorables	Geotécnicos (p.d.)	Litológicos y Geotécnicos (p.d.)	Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	Geomorfológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	Geomorfológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)		↓
Muy Desfavorables							↓

LEYENDA			
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS FAVORABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS ACEPTABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS MUY DESFAVORABLES
Zonas sin problemas específicos aparentes. Problemas muy localizados de tipo Hidrológico, Geotécnico y Litológico.	Problemas de tipo Litológico.	Problemas de tipo Geomorfológico.	Problemas de tipo Litológico, Geotécnicos e Hidrológicos.
Problemas de tipo Geomorfológico.	Problemas de tipo Geomorfológico.	Problemas de tipo Geotécnico e Hidrológico.	
Problemas de tipo Hidrológico.	Problemas de tipo Hidrológico y Geotécnicos.	Problemas de tipo Litológico y Geotécnico.	
Problemas de tipo Hidrológico y Geomorfológico.	Problemas de tipo Hidrológico y Geomorfológico.	Problemas de tipo Litológico, Geomorfológico y Geotécnico.	





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 5: CLIMA MARÍTIMO



Índice

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	DESCRIPCIÓN DE LA RECOGIDA DE DATOS.....	5
	2.1. DATOS PROCEDENTES DE LA ROM 0.3-91	5
	2.2. BOYA DE VALENCIA (REDEXT).....	8
3.	RÉGIMEN DE VIENTOS.....	10
	3.1. ROSA DE VIENTOS: INVIERNO.....	11
	3.2. ROSA DE VIENTOS: PRIMAVERA	12
	3.3. ROSA DE VIENTOS: VERANO.....	13
	3.4. ROSA DE VIENTOS: OTOÑO	14
	3.5. CONCLUSIONES	15
4.	CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE	16
	4.1. RÉGIMEN EXTREMAL	16
	4.1.1. DIRECCIÓN DEL OLEAJE	16
	4.1.2. ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE	18
	4.1.3. PERÍODO PICO DE OLEAJE	19
	4.2. RÉGIMEN MEDIO	20
	4.2.1. ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE	20
	4.2.2. PERÍODO PICO DE OLEAJE	23
5.	PROPAGACIÓN DEL OLEAJE.....	24
	5.1. RÉGIMEN EXTREMAL	24
	5.2. RÉGIMEN MEDIO	26

Índice de Imágenes

Imagen 1. Tabla 2.2.1. (Fuente: ROM 0.3-91)	5
Imagen 2. Localización de la Boya de Valencia (Fuente: xxx).....	9
Imagen 3. Rosa de vientos. Invierno (Fuente: Puertos del Estado).....	11
Imagen 4. Rosa de vientos. Primavera (Fuente: Puertos del Estado)	12
Imagen 5. Rosa de vientos. Verano (Fuente: Puertos del Estado)	13
Imagen 6. Rosa de vientos. Verano (Fuente: Puertos del Estado)	14
Imagen 7. Rosa de vientos. Anual (Fuente: Puertos del Estado).....	15
Imagen 8. Rosa de altura significativa. Invierno (Fuente: Puertos del Estado).....	16
Imagen 9. Rosa de altura significativa. Primavera (Fuente: Puertos del Estado)	17
Imagen 10. Rosa de altura significativa. Verano (Fuente: Puertos del Estado)	17
Imagen 11. Rosa de altura significativa. Otoño (Fuente: Puertos del Estado).....	18
Imagen 12. Ángulos de incidencia (Elaboración propia)	25

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos de la Boya de Valencia (Fuente: Elaboración propia)	9
Tabla 2. Altura de ola significativa y su período pico para cada dirección (Fuente: Elaboración propia).....	23
Tabla 3. Datos y resultados del modelo Waves at the breaking point (Fuente: Elaboración propia)	25
Tabla 4. Datos y resultados del modelo Refraction parallel contourlines (Fuente: Elaboración propia)	26
Tabla 5. Datos y resultados del Wave Calculator (Fuente: Elaboración propia)	26

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Relación de altura de ola significativa H_s con probabilidad de excedencia (Fuente: Puertos del Estado) ...	19
Gráfica 2. Régimen medio de altura significativa en la dirección NE (Fuente: Puertos del Estado)	20
Gráfica 3. Régimen medio de altura significativa en la dirección ENE (Fuente: Puertos del Estado)	21
Gráfica 4. Régimen medio de altura significativa en la dirección E (Fuente: Puertos del Estado).....	21
Gráfica 5. Régimen medio de altura significativa en la dirección ESE (Fuente: Puertos del Estado)	22
Gráfica 6. Régimen medio de altura significativa en la dirección SE (Fuente: Puertos del Estado)	22
Gráfica 7. Régimen medio de altura significativa en la dirección SSE (Fuente: Puertos del Estado)	23

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este anejo es investigar el clima marítimo de la zona que influye en el puerto de Gandía, objeto de estudio para su expansión.

El análisis del clima marítimo incluye la descripción del patrón promedio de las olas (determinado por la distribución estadística de los diferentes estados del mar) y la identificación de eventos extremos poco comunes durante el año que, debido a su intensidad e impacto, son de gran relevancia. Estos eventos pueden causar daños estructurales en las infraestructuras, provocar erosión anormal en las playas o generar un transporte de sedimentos inusual.

Para recopilar la información necesaria, se utilizará la ROM 0.3-91 y la página web oficial de Puertos del Estado. En esta página web, se utilizará la información proporcionada por la boya de Valencia, que es la más cercana al puerto estudiado. De ella se obtendrán datos sobre el oleaje en condiciones extremas y promedio, así como información relacionada con los vientos.

2. DESCRIPCIÓN DE LA RECOGIDA DE DATOS

La elección del conjunto de datos es crucial para el desarrollo del proyecto, ya que estos datos serán esenciales para el cálculo de las estructuras marítimas.

2.1. DATOS PROCEDENTES DE LA ROM 0.3-91

La metodología empleada para caracterizar el oleaje en profundidades indefinidas que pueden afectar el frente costero dentro del área de estudio se basa en la información del Clima Marítimo de la ROM 0.3-91. Esta metodología define áreas homogéneas que describen el oleaje en aguas profundas en zonas costeras con exposición similar a las distintas direcciones del oleaje incidente. El frente litoral dentro del ámbito de estudio está clasificado como Área VII, como se muestra en la Imagen 1.

ÁREA	CUADRÍCULA
I	43° N - 45° N 1,5° W - 7° W
II	43,2° N - 45° N 7° W - 11° W
III	41,5° N - 43,2° N 8° W - 11° W
IV	35° N - 37,1° N 5,6° W - 10° W
V	35° N - 37° N 2° W - 5,6° W
VI	35° N - 38° N 2° W - 2° E
VII	37,8° N - 40,5° N 1° W - 2° E
VIII	40,5° N - 42,5° N 0,0° W - 4,5° E
IX	38,3° N - 41° N 0,5° E - 5,5° E
X	26,5° N - 30,5° N 12° W - 20° W

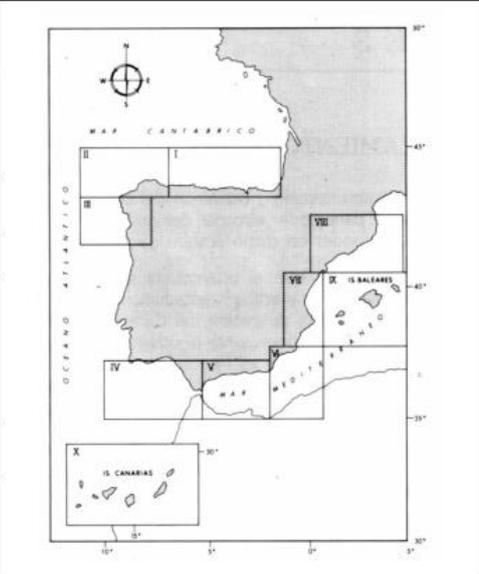


Imagen 1. Tabla 2.2.1. (Fuente: ROM 0.3-91)

La metodología propuesta en la ROM 0.3-91 se basa en el análisis estadístico de dos fuentes de información:

1. Datos visuales de oleaje en profundidades indefinidas, con carácter direccional, almacenados en la Base de Datos Visuales del CEPYC (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas y Costas).

2. Datos instrumentales escalares de oleaje registrados por las boyas de la red REMRO (Red de Medida del Régimen de Oleaje).

Se excluye la información visual de barcos en ruta incluida en la ROM 0.3-91 debido a que su período de registro finaliza en 1985 y se considera menos fiable en comparación con los datos instrumentales o numéricos.

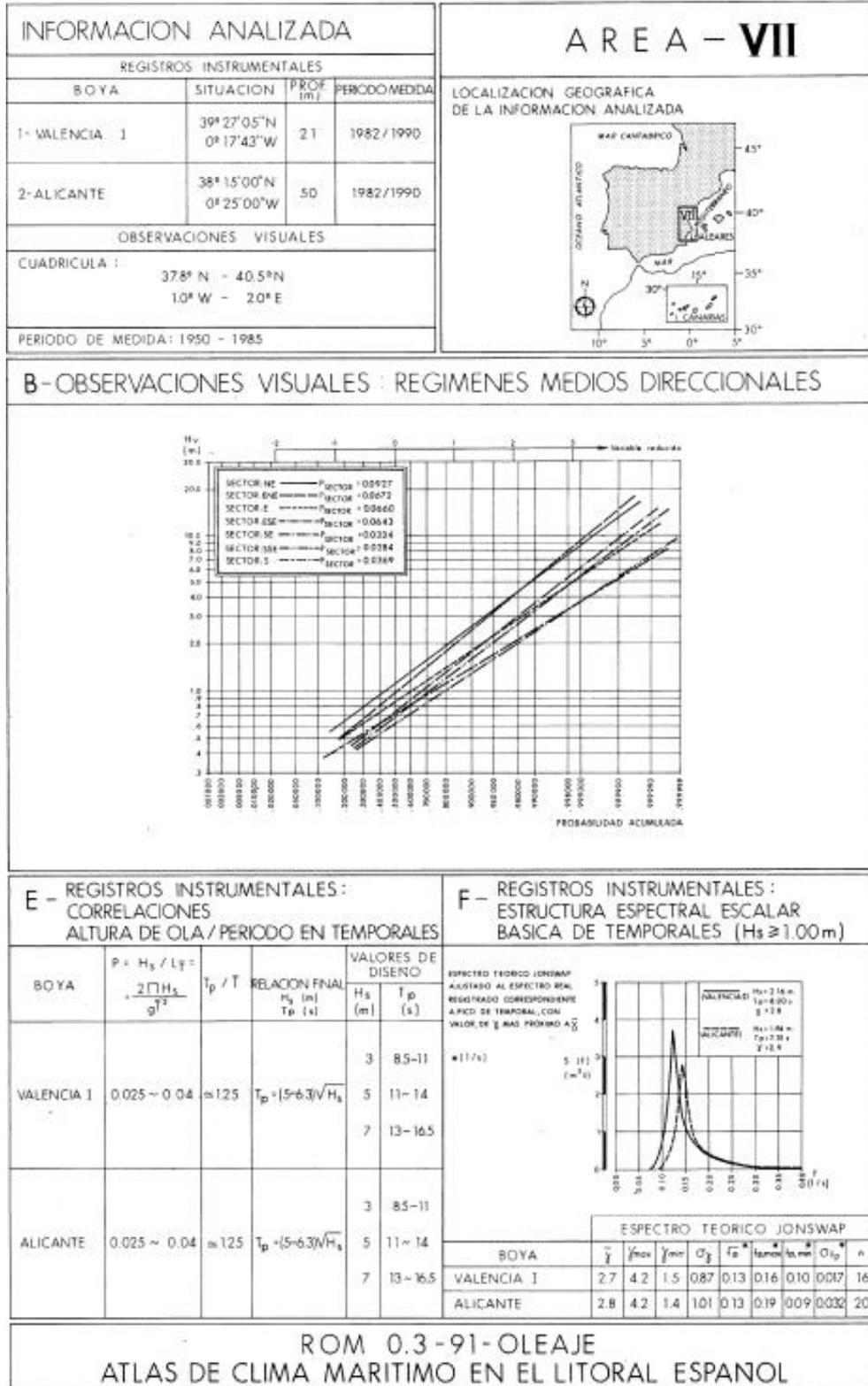
El análisis de esta información se complementa con los datos disponibles en el Banco de Datos Oceanográficos del Ente Público Puertos del Estado, que incluye información instrumental y numérica para el Área VII, que abarca el frente litoral objeto de estudio.

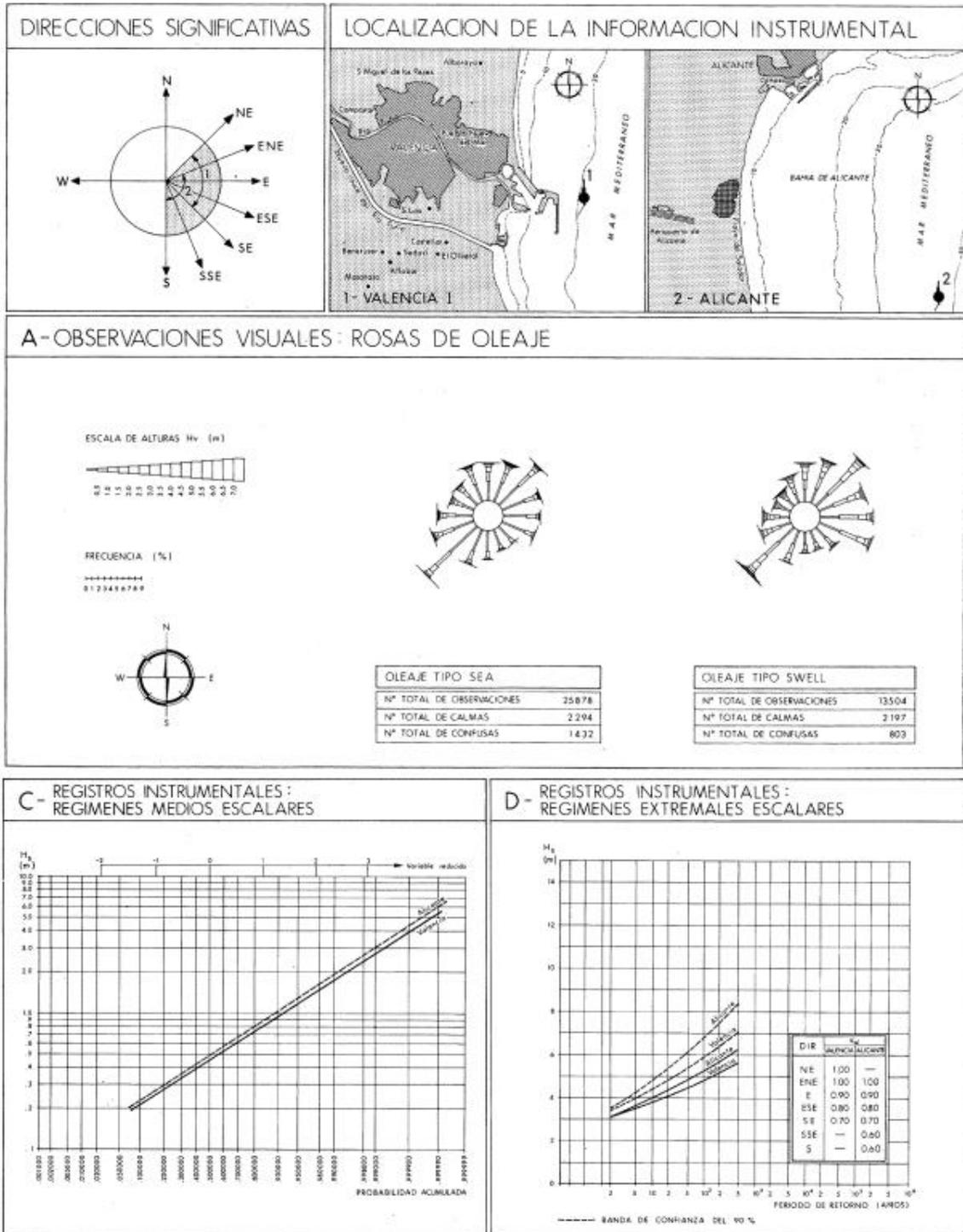
La organización de los datos es la siguiente:

- **Cabecera:** Características y localización de la información analizada.
- **Cuadro A: Observaciones Visuales - Rosas de Oleaje:** Muestra la distribución conjunta de altura, dirección y frecuencia de las olas en forma de rosas de oleaje. Se distingue entre el oleaje tipo Sea, que se forma bajo la acción directa y continua del viento con olas elementales de altura, período, fase y dirección de propagación aleatorias e independientes, y el oleaje tipo Swell, que se genera en zonas distintas a las de generación, agrupando los datos en sectores de 22.5° de amplitud.
- **Cuadro B: Observaciones Visuales - Regímenes Medios Direccionales. Frecuencias Sectoriales:** Presenta las frecuencias de altura de ola visual (H_v) por sectores direccionales.
- **Cuadro C: Registros Instrumentales - Regímenes Medios Escalares:** Proporciona el análisis estadístico unidimensional de la altura de ola significativa (a partir de datos instrumentales) para la situación de régimen medio.
- **Cuadro D: Registros Instrumentales - Regímenes Extremales Escalares. Relación Altura/Dirección:** Ofrece el análisis estadístico unidimensional de la altura de ola significativa (a partir de datos instrumentales) para la situación de régimen extremal.
- **Cuadro E: Registros Instrumentales - Correlaciones Altura de Ola/Periodo para Condiciones de Temporal:** Muestra el análisis estadístico bidimensional de altura de ola significativa/periodo medio y periodo medio/periodo pico, para condiciones de temporal.
- **Cuadro F: Registros Instrumentales - Estructura Espectral Escalar Básica para Condiciones de Temporal:** Presenta un análisis estadístico espectral enfocado en

obtener una estructura espectral escalar básica del oleaje representativa de las condiciones de temporal.

A continuación, se adjunta la hoja correspondiente a dichos datos en la página siguiente:





2.2. BOYA DE VALENCIA (REDEXT)

El conjunto de datos REDEXT se compone de las mediciones obtenidas de la Red de Boyas de Aguas Profundas (Red Exterior). Esta red combina, amplía y actualiza las antiguas redes RAYO y EMOD.

Las boyas de esta red están ancladas a gran profundidad, a más de 200 metros de la línea de costa. Debido a esto, las mediciones de oleaje realizadas por estos sensores no están influenciadas por efectos locales, proporcionando observaciones representativas de amplias zonas costeras.

La Red Exterior incluye dos tipos de boyas: Wavescan y SeaWatch. Las boyas SeaWatch registran tanto el oleaje como parámetros atmosféricos y oceanográficos, mientras que las boyas Wavescan miden únicamente el oleaje y variables atmosféricas.

Para el estudio del clima marítimo del Puerto de Gandía, se utilizarán los datos obtenidos del Banco de Datos Oceanográficos de Puertos del Estado de la boya de Valencia, ya que es la más cercana al puerto. La ubicación de la boya de Valencia se muestra en la siguiente imagen:

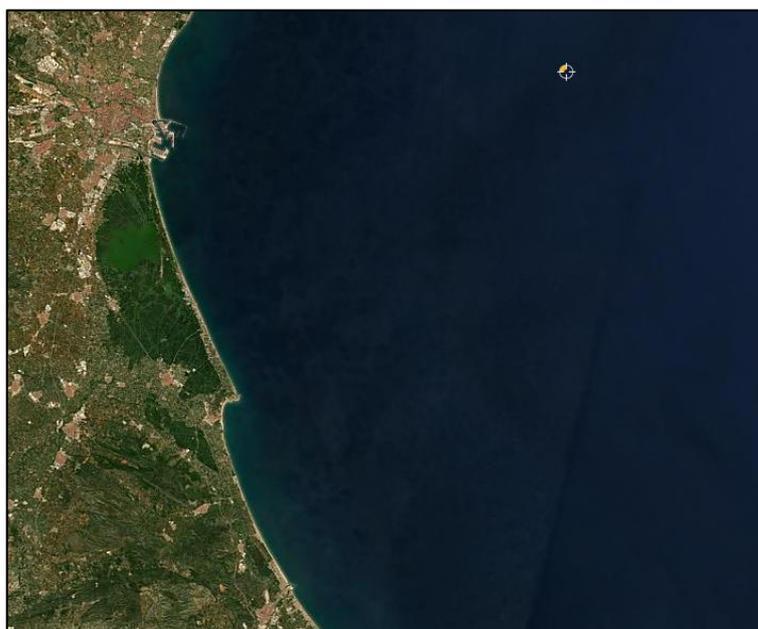


Imagen 2. Localización de la Boya de Valencia (Fuente: xxx)

Los datos de la Boya de Valencia son los siguientes:

Conjunto de datos	Red Exterior
Longitud	0.200 E
Latitud	39.150 N
Profundidad	260.000 m
Período	Septiembre 2005 - Noviembre 2021

Tabla 1. Datos de la Boya de Valencia (Fuente: Elaboración propia)

3. RÉGIMEN DE VIENTOS

Para analizar las direcciones principales del viento, se utilizarán las rosas de vientos. Estas representan 16 direcciones y proporcionan información sobre la frecuencia y la velocidad del viento en cada una de ellas.

Los datos que se mostrarán a continuación se han obtenido del apartado de Oceanografía de la web de Puertos del Estado, donde se presenta la rosa de vientos para cada estación del año.

3.1. ROSA DE VIENTOS: INVIERNO

LUGAR : Boya de Valencia

PERIODO : Dic. - Feb.

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Nov. 2021

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 1.0

PORCENTAJE DE CALMAS : 11.29 %

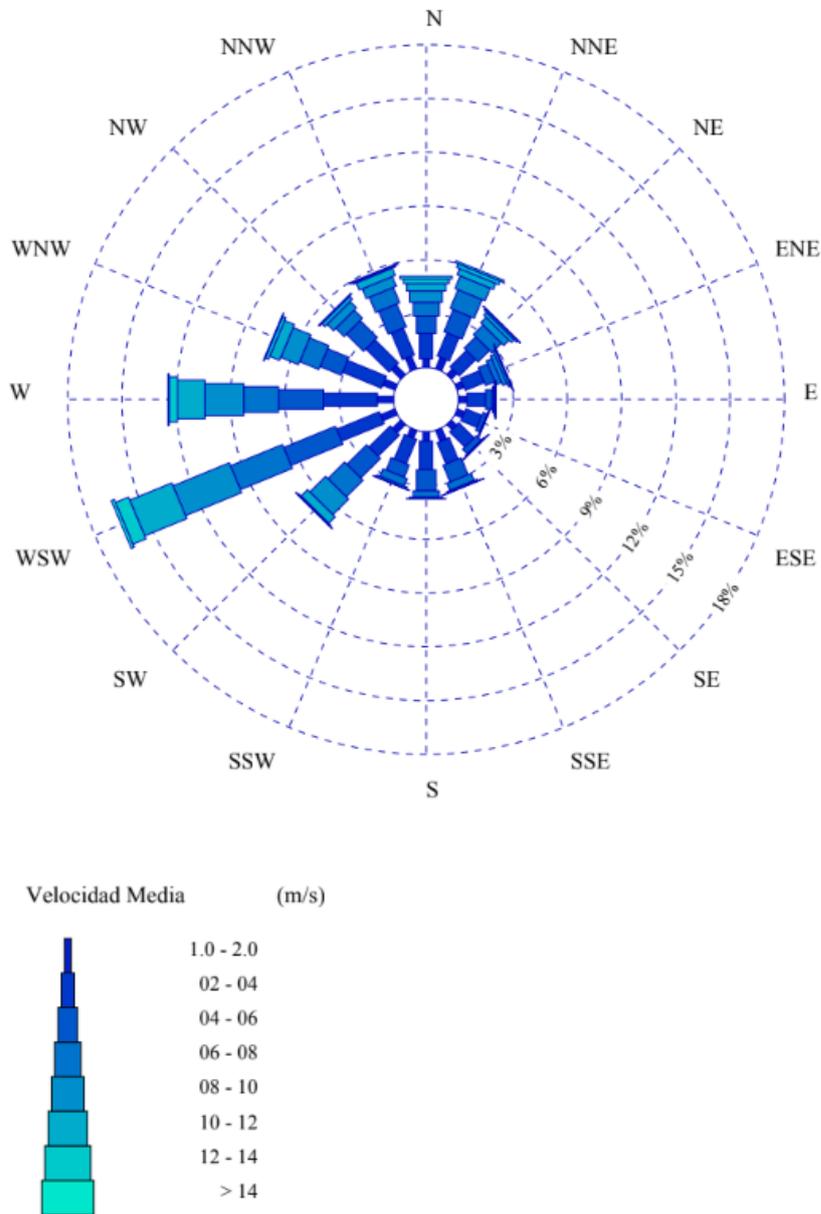


Imagen 3. Rosa de vientos. Invierno (Fuente: Puertos del Estado)

En invierno la dirección de viento que tiene más frecuencia en la boya de Valencia es la dirección WSW con unas velocidades superiores de 12 m/s y una frecuencia también superior al 15%.

3.2. ROSA DE VIENTOS: PRIMAVERA

LUGAR : Boya de Valencia

PERIODO : Mar. - May.

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Nov. 2021

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 1.0

PORCENTAJE DE CALMAS : 18.13 %

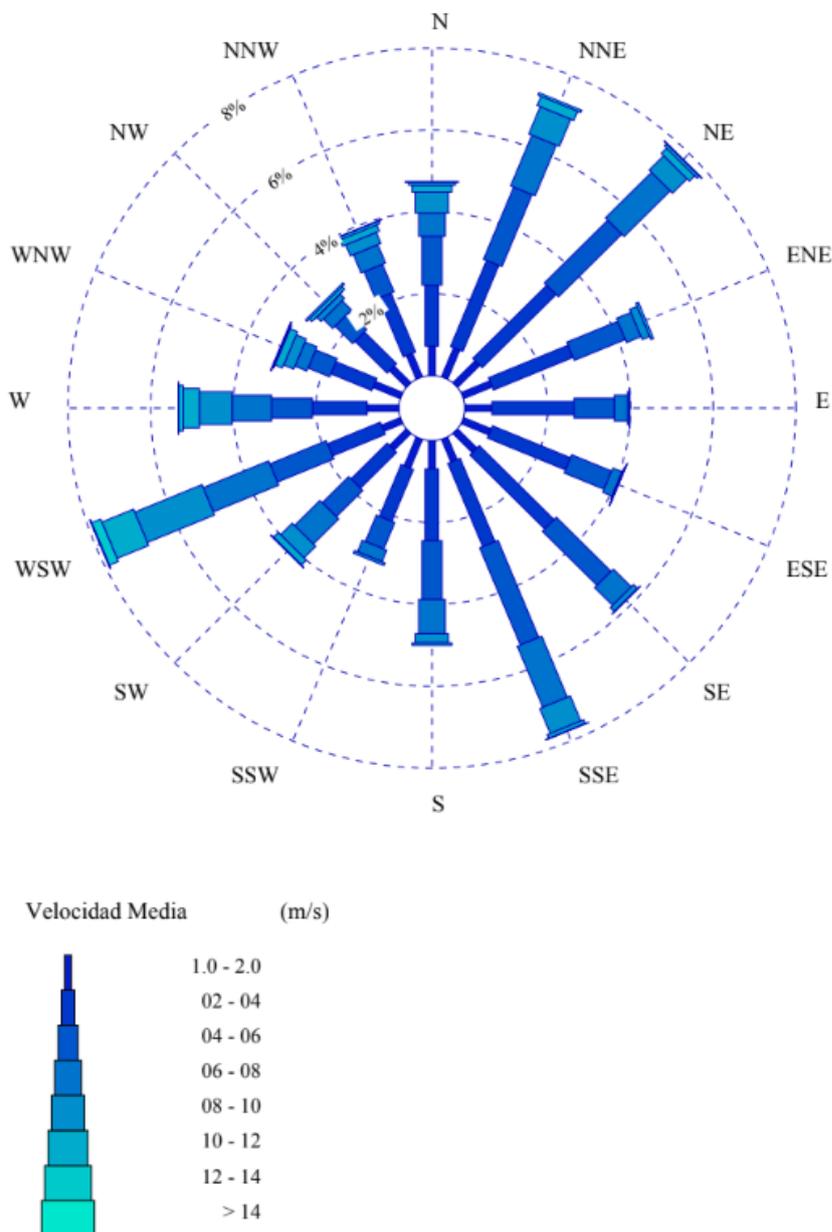


Imagen 4. Rosa de vientos. Primavera (Fuente: Puertos del Estado)

En primavera la dirección WSW sigue siendo la que tiene más frecuencia, aunque menos comparada con la estación de invierno (8% de frecuencia en primavera), con una velocidad de 12 m/s (similar que en invierno). Toman mayor importancia las direcciones SSE, NE y NNE, lo que significa esa transición de invierno a verano.

3.3. ROSA DE VIENTOS: VERANO

LUGAR : Boya de Valencia

PERIODO : Jun. - Ago.

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Nov. 2021

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 1.0

PORCENTAJE DE CALMAS : 16.53 %

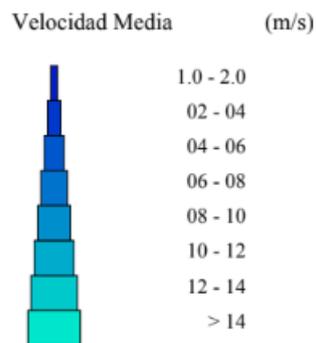
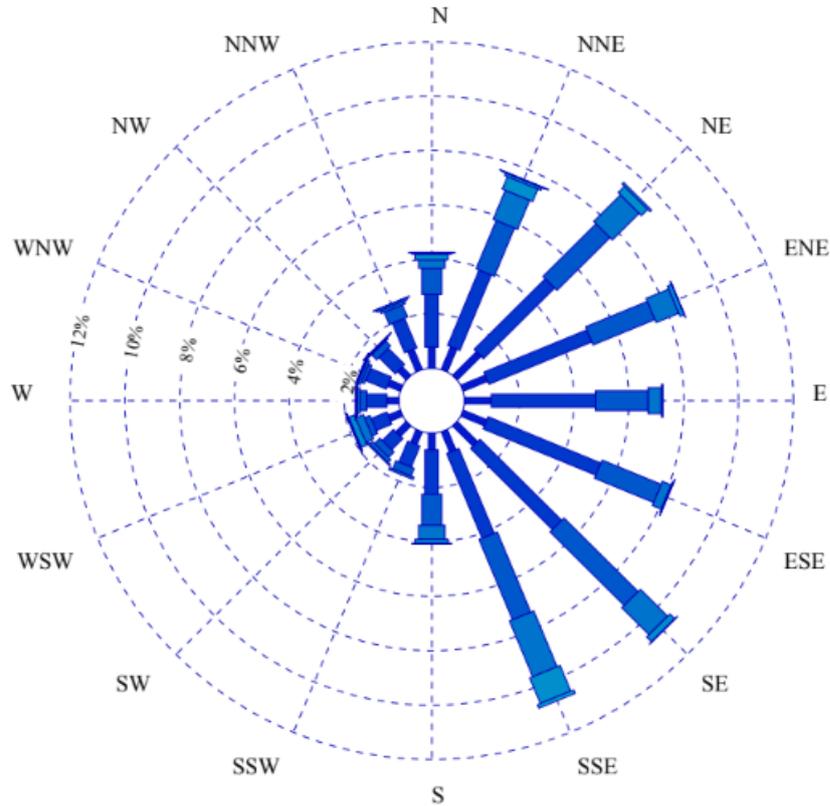


Imagen 5. Rosa de vientos. Verano (Fuente: Puertos del Estado)

En verano, las direcciones SSE y SE son las que tienen mayor frecuencia (superiores al 10%) y unas velocidades máximas de 11 m/s. La siguiente dirección con mayor frecuencia es la dirección NE con un 9% de frecuencia. Las velocidades medias de los vientos siguen siendo de 2-4 m/s.

3.4. ROSA DE VIENTOS: OTOÑO

LUGAR : Boya de Valencia

PERIODO : Sep. - Nov.

CRITERIO DE DIRECCIONES: Procedencia

SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Nov. 2021

INTERVALO DE CALMAS : 0 - 1.0

PORCENTAJE DE CALMAS : 16.72 %

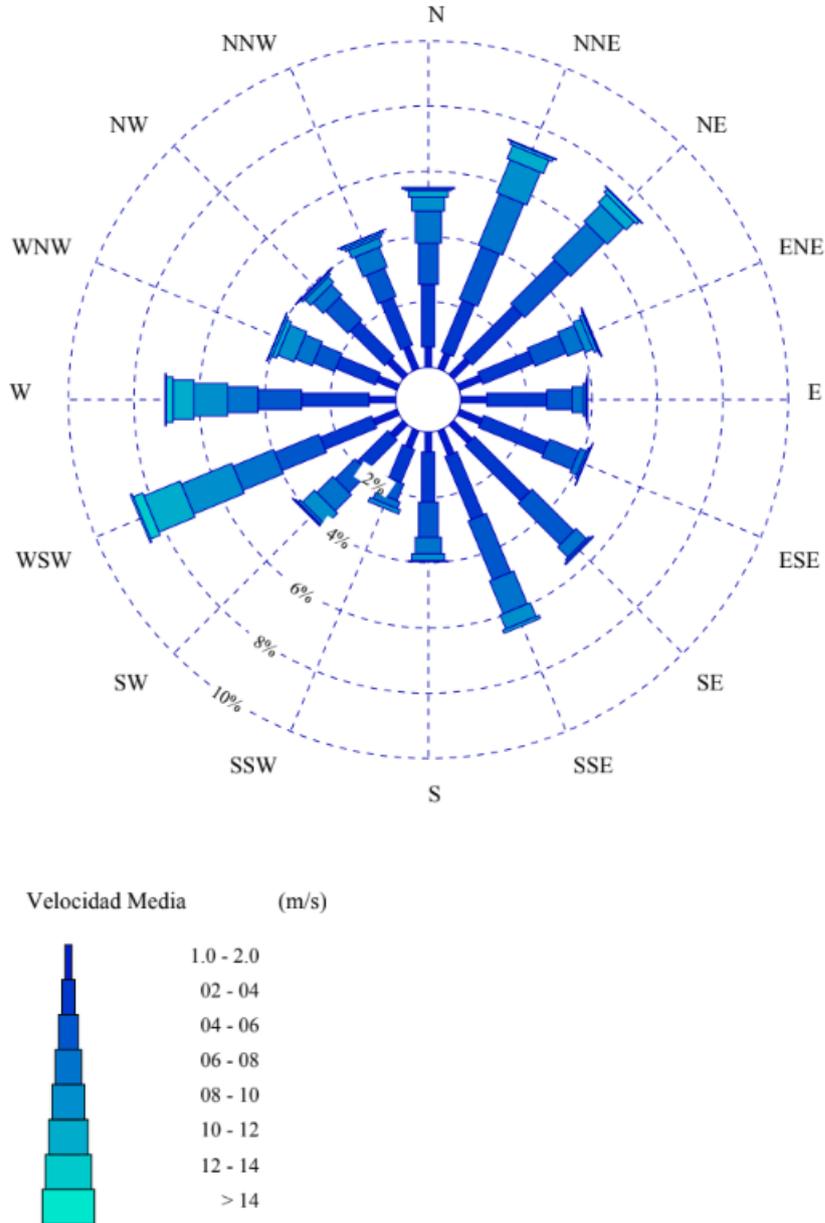


Imagen 6. Rosa de vientos. Verano (Fuente: Puertos del Estado)

Al igual que en primavera, en otoño las direcciones de los vientos son más variadas debido a que es un período de transición, en este caso, de verano a invierno. La dirección con mayor frecuencia es WSW con una frecuencia del 9% y una velocidad máxima de 10 m/s. Las direcciones con mayor frecuencia tras la dirección nombrada son: W, NNE y NE, teniendo una frecuencia superior al 7%. La velocidad media más frecuente sigue siendo de 2-4 m/s.

3.5. CONCLUSIONES

Se puede decir que, a lo largo del año, la dirección con mayor frecuencia es la dirección WSW, con una frecuencia que ronda el 9% y una velocidad superior a 12 m/s. Además, los vientos que se producen a lo largo del invierno son más predominantes que en verano ya que son más predominantes los vientos que provienen de direcciones invernales.

Se puede observar de manera más clara en la siguiente Rosa de Vientos Anual:

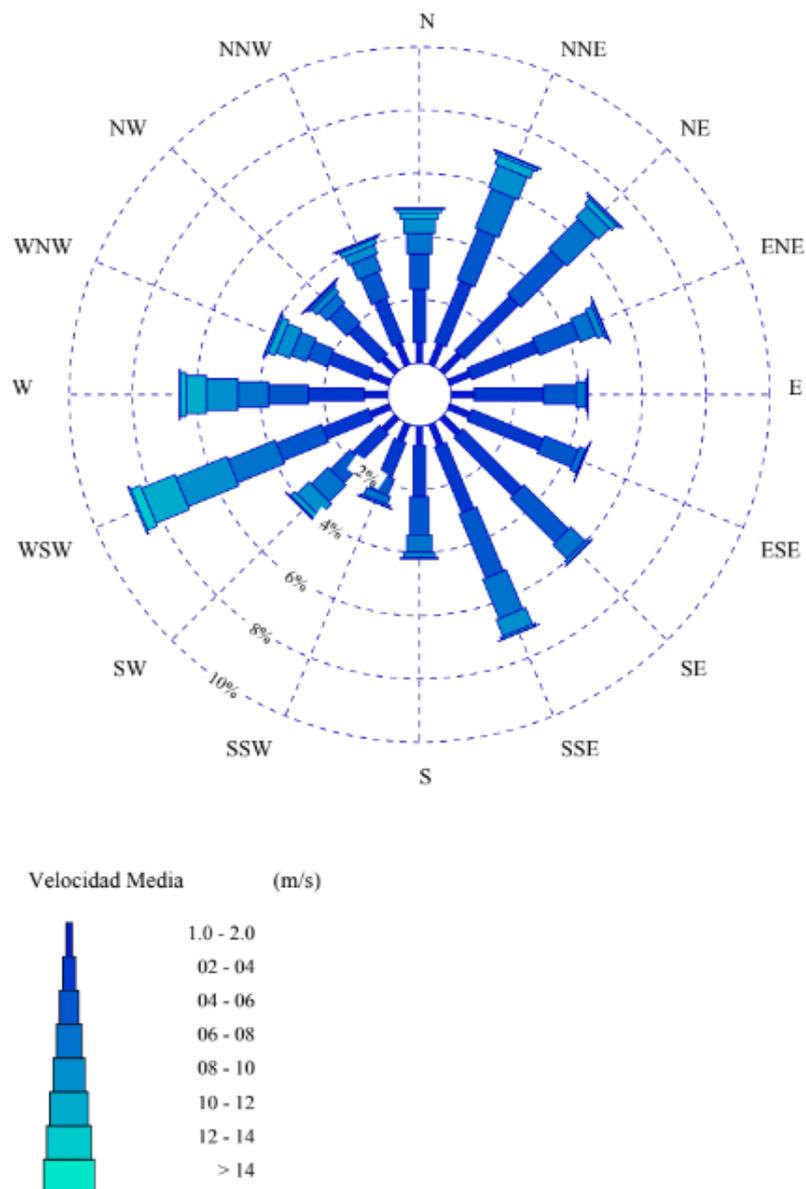


Imagen 7. Rosa de vientos. Anual (Fuente: Puertos del Estado)

4. CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE

4.1. RÉGIMEN EXTREMAL

“La seguridad y la operatividad de una instalación en la costa puede estar condicionada por la acción del oleaje en situación de temporal. Es decir, en situaciones donde la altura del oleaje alcanza una intensidad poco frecuente.

Con el fin de acotar el riesgo que corre una instalación, debido a la acción del oleaje, es necesario tener una estimación de la frecuencia o probabilidad con la que se presentan temporales que superen una cierta Altura Significante de ola.

Un régimen extremal de oleaje, es precisamente, un modelo estadístico que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal de una cierta altura de riesgo.”

4.1.1. DIRECCIÓN DEL OLAJE

La dirección del oleaje es estudiada mediante las rosas de oleaje, las cuales indican la altura de ola significativa y la frecuencia de aparición del oleaje. Los datos que se mostrarán a continuación han sido sacados de la página web de Puertos del Estado, en los datos históricos del oleaje para las distintas estaciones del año.

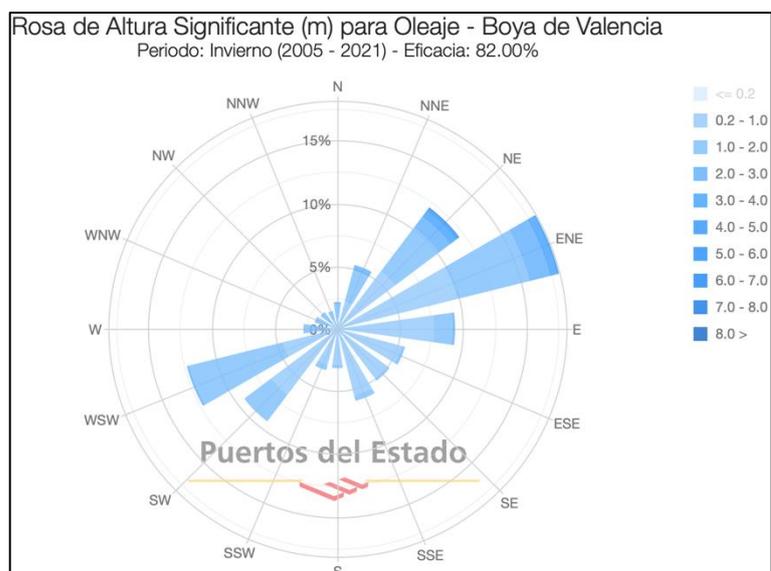


Imagen 8. Rosa de altura significativa. Invierno (Fuente: Puertos del Estado)

Durante el invierno las direcciones con mayor frecuencia son ENE (20% de frecuencia) WSW y NE (ambas con aproximadamente 12% de frecuencia). La altura de ola significativa en la dirección NE llega a ser de hasta 8 metros, mientras que en la dirección ENE llega hasta 6 metros.

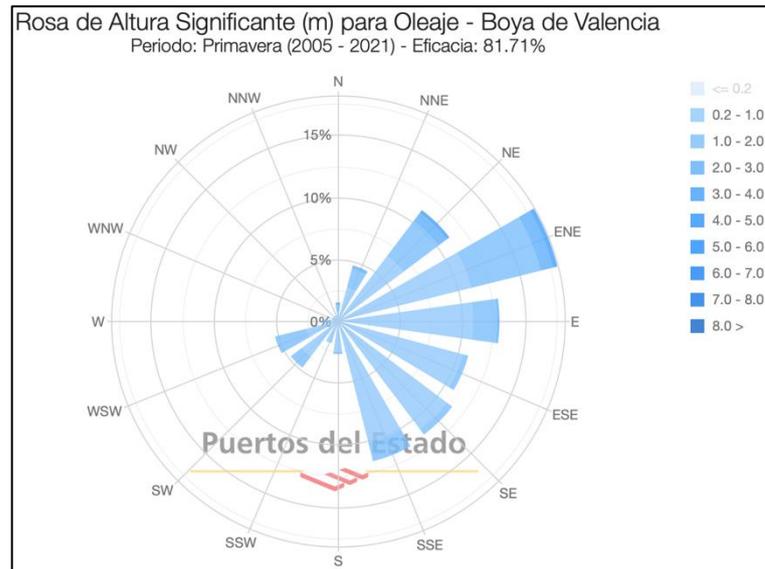


Imagen 9. Rosa de altura significativa. Primavera (Fuente: Puertos del Estado)

En primavera, la dirección ENE sigue siendo la dirección de oleaje más frecuente llegando al 18%. Siguen las siguientes direcciones: NE, E, ESE, SE y SEE, superando todas las direcciones una frecuencia del 10%. La altura de ola significativa puede llegar a los 4 metros en las direcciones NE y ENE, mientras que en el resto de las direcciones nombradas la altura de ola significativa llega hasta los 3 metros.

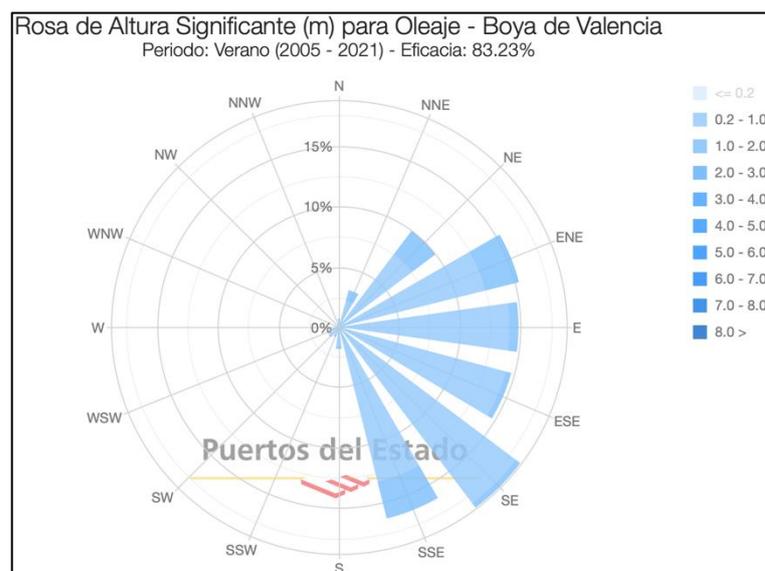


Imagen 10. Rosa de altura significativa. Verano (Fuente: Puertos del Estado)

Durante el verano la dirección con mayor frecuencia de oleaje es SE. En esta estación la dirección NE pierde frecuencia, mientras que las direcciones ENE, E, ESE y SSE aumentan respecto de la primavera, llegando al 15% de frecuencia. En esta estación la altura significativa máxima es de 3 metros.

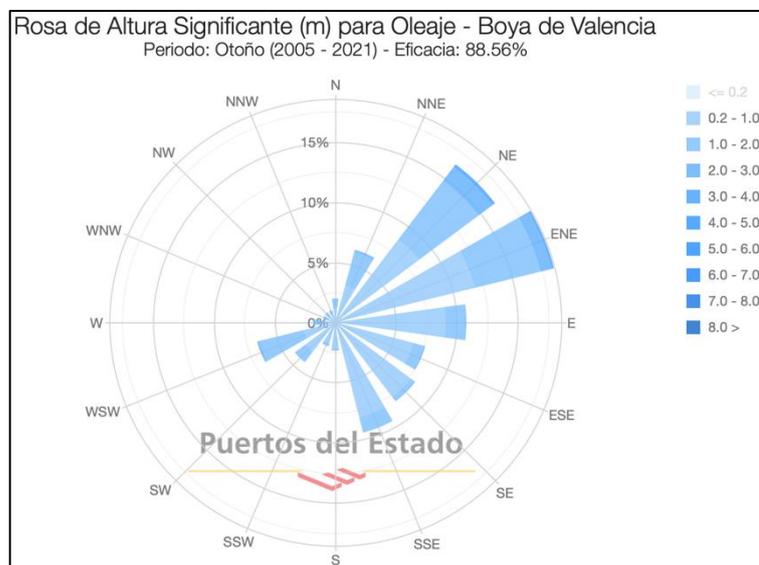


Imagen 11. Rosa de altura significativa. Otoño (Fuente: Puertos del Estado)

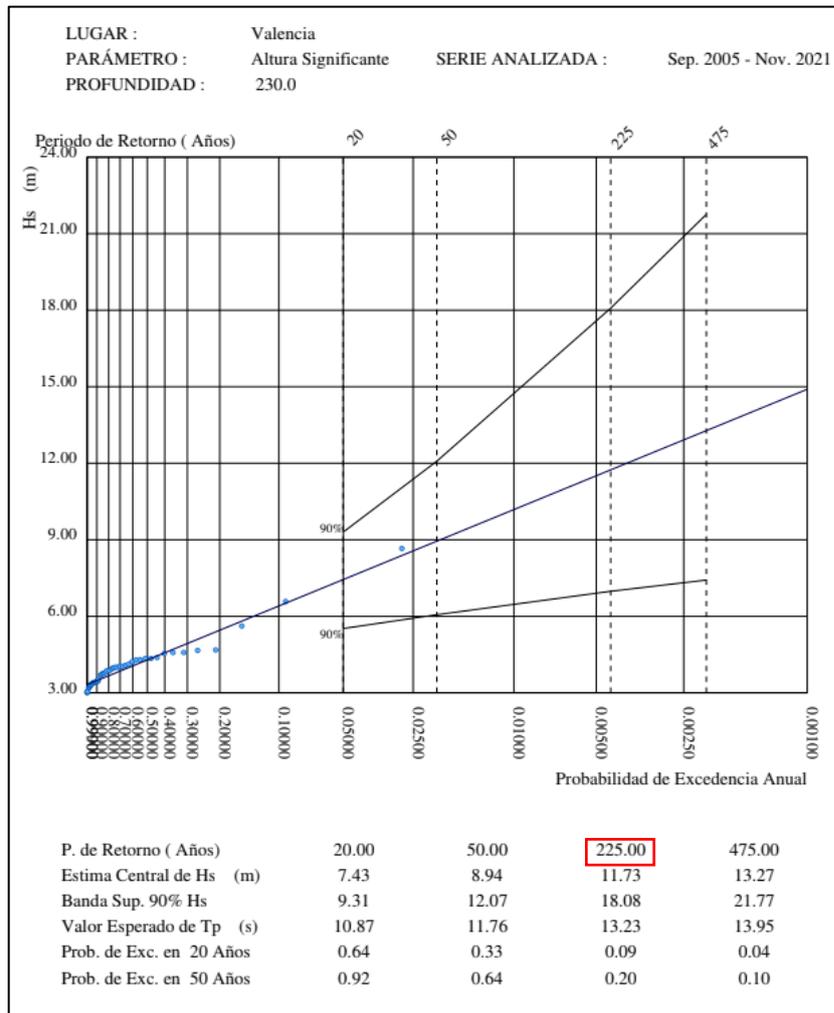
En otoño se produce la transición hacia el invierno, por lo que las direcciones ENE y NE toman mayor frecuencia, llegando a las frecuencias 18% y 17% respectivamente. La altura de oleaje alcanzada en ambas direcciones llega hasta los 5 metros.

Vistas las direcciones en todas las estaciones, se puede concluir que la dirección del oleaje con mayor frecuencia es ENE, con una altura significativa mayor durante todo el año. También nombrar las direcciones NE, E, ESE, SE y SSE, ya que son direcciones que por su frecuencia y altura de ola van a condicionar el diseño de ampliación del puerto.

4.1.2. ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE

La altura de ola significativa también se obtendrá de la página de Puertos del Estado (www.puertos.es), recurriendo nuevamente a los datos históricos del oleaje en regímenes extremos para la Boya de Valencia. Así, obtenemos la gráfica que relaciona la altura de ola significativa H_s con la probabilidad de excedencia.

Como vemos en la *Imagen 13*, para la banda de confianza de un 90% y un retorno de 225 años, la altura de ola significativa obtenida sería $H_s=11.73$ m.



Gráfica 1. Relación de altura de ola significativa H_s con probabilidad de excedencia (Fuente: Puertos del Estado)

4.1.3. PERÍODO PICO DE OLAJE

En el informe mencionado anteriormente del que se ha obtenido la altura significativa de ola, se encuentra la siguiente relación entre la altura de ola significativa y el periodo pico.

Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s)

$$T_p = 4.58 H_s^{0.43}$$

Aplicando la fórmula mencionada anterior, se obtiene un período pico de oleaje de 13.20 segundos.

4.2. RÉGIMEN MEDIO

Se puede definir el régimen medio de una serie temporal como el conjunto de estados de oleaje más comúnmente observados.

Este régimen medio está estrechamente relacionado con las condiciones medias de operación, que describen el comportamiento probabilístico del oleaje en el que, por lo general, se desarrolla una actividad específica afectada por uno de estos agentes.

4.2.1. ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE

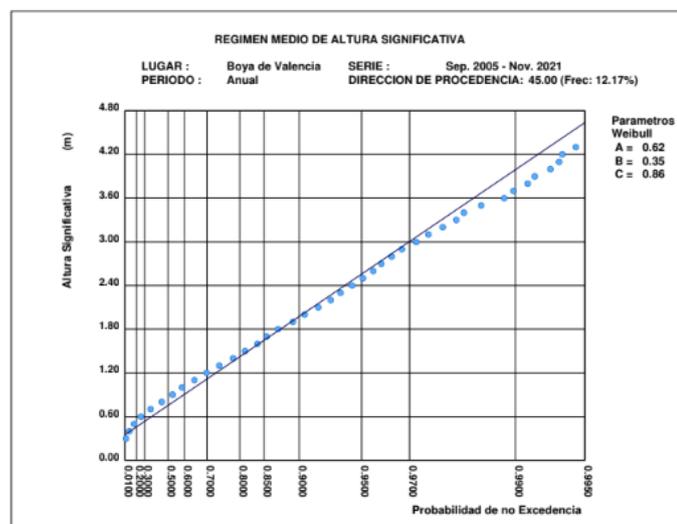
Para determinar la altura media de las olas significativas, recurrimos nuevamente al documento "Clima medio de oleaje" de la página web de Puertos del Estado, específicamente a los datos de la Boya de Valencia.

En esta sección nos enfocaremos exclusivamente en las direcciones de oleaje predominantes que ya hemos analizado previamente. Para este propósito, utilizaremos las gráficas que establecen la relación entre la altura de ola significativa y la probabilidad de no excedencia.

Las direcciones predominantes serán las siguientes: Noreste (NE), Este-Noreste (ENE), Este (E), Este-Sureste (ESE), Sureste (SE), Sur-Sureste (SSE). Para estas direcciones admitiremos una probabilidad de no excedencia del 99%.

A continuación, se obtiene la altura de ola significativa para cada dirección:

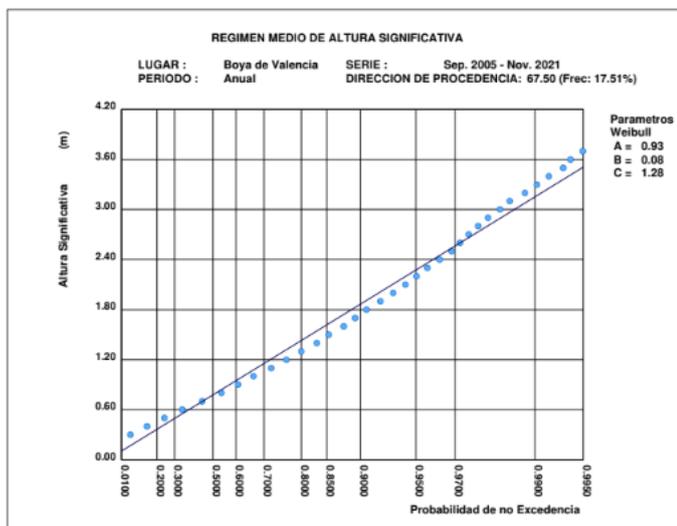
Noreste (NE):



Gráfica 2. Régimen medio de altura significativa en la dirección NE (Fuente: Puertos del Estado)

Para la dirección NE, la altura de ola significativa será $H_s = 4.00$ metros.

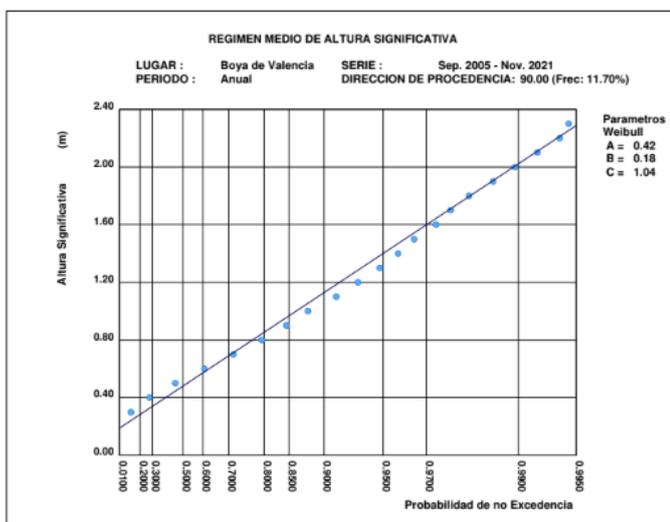
Este-Noreste (ENE):



Gráfica 3. Régimen medio de altura significativa en la dirección ENE (Fuente: Puertos del Estado)

Para la dirección ENE, la altura de ola significativa será $H_s = 3.20$ metros.

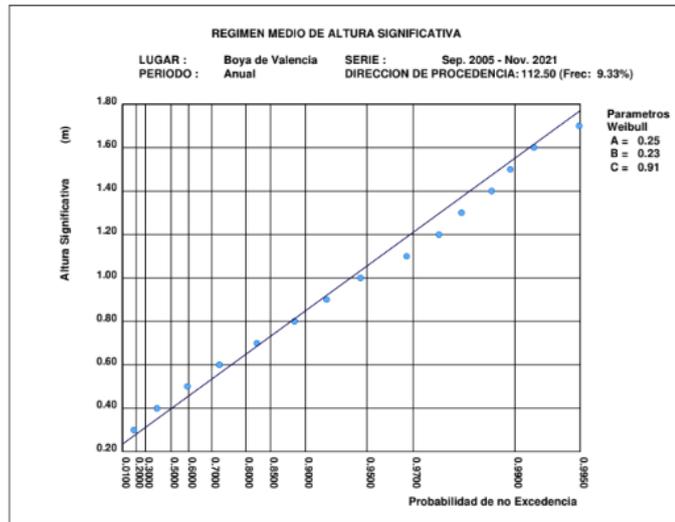
Este (E):



Gráfica 4. Régimen medio de altura significativa en la dirección E (Fuente: Puertos del Estado)

Para la dirección E, la altura de ola significativa será $H_s = 2.00$ metros.

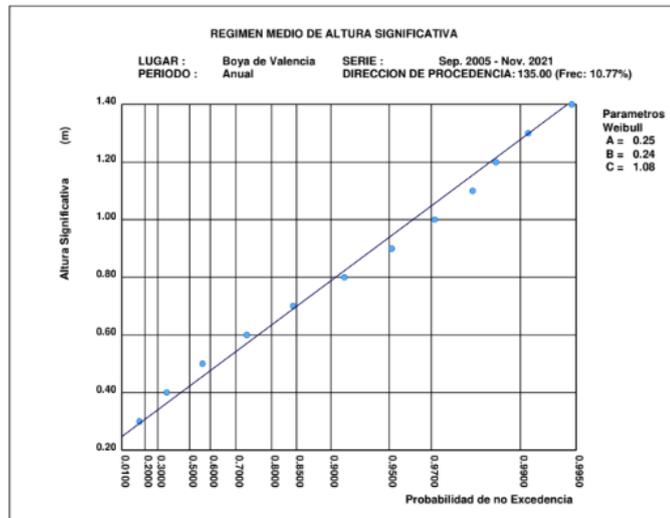
Este-Sureste (ESE):



Gráfica 5. Régimen medio de altura significativa en la dirección ESE (Fuente: Puertos del Estado)

Para la dirección ESE, la altura de ola significativa será $H_s = 1.55$ metros.

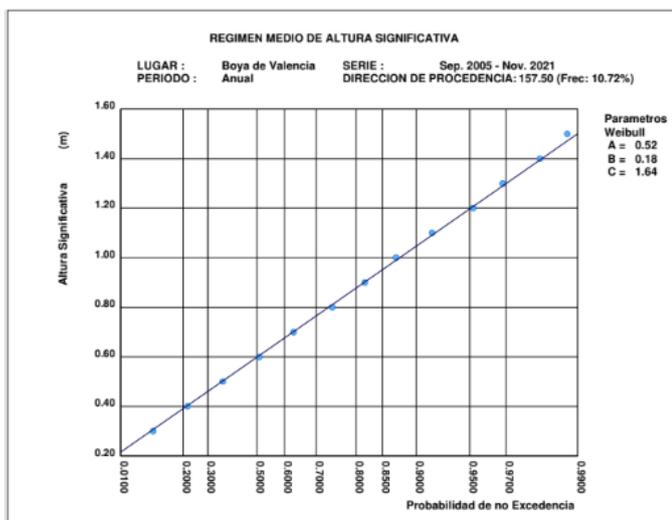
Sureste (SE):



Gráfica 6. Régimen medio de altura significativa en la dirección SE (Fuente: Puertos del Estado)

Para la dirección ESE, la altura de ola significativa será $H_s = 1.30$ metros.

Sur-Sureste (SSE):



Gráfica 7. Régimen medio de altura significante en la dirección SSE (Fuente: Puertos del Estado)

Para la dirección SSE, la altura de ola significante será $H_s = 1.50$ metros.

4.2.2. PERÍODO PICO DE OLEAJE

Para hallar el período pico se utilizará la misma relación utilizada hallar el período pico en régimen extremal:

Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s)

$$T_p = 4.58 H_s^{0.43}$$

En la siguiente tabla se recogen los datos obtenidos a partir de la relación anterior:

Dirección	Altura de ola significante (m)	Período pico (s)
NE	4,00	8,31
ENE	3,20	7,55
ENE	2,00	6,17
ESE	1,55	5,53
SE	1,30	5,13
SSE	1,50	5,45

Tabla 2. Altura de ola significante y su período pico para cada dirección (Fuente: Elaboración propia)

En el siguiente apartado aplicaremos los procedimientos de propagación del oleaje a los datos obtenidos, puesto que estos datos están referidos a la Boya de Valencia y es necesario propagarlos a nuestra zona de estudio, el Puerto de Gandía. Tendremos en cuenta entonces el asomeramiento y la difracción para obtener la ola significante corregida que llega al puerto.

5. PROPAGACIÓN DEL OLAJE

Los estudios de propagación del oleaje permiten conocer las modificaciones de la altura de ola significativa desde aguas profundas hasta el emplazamiento del punto de medida considerado. En este caso, este estudio se enfocará en el régimen extremal ya que será el régimen que limitante para el dimensionamiento del nuevo contradique.

5.1. RÉGIMEN EXTREMAL

Para el diseño de la ampliación del nuevo contradique necesaria la altura de ola significativa corregida pie de la obra de abrigo.

Sabiendo que el contradique se encuentra en aguas reducidas, se producirá rotura del oleaje por fondo, es decir, la rotura de ola ocurrirá antes de llegar al contradique, por lo que el diseño se realizará para una ola de cálculo de que es independiente del temporal.

Para verificar que hay rotura de oleaje por fondo se calculará la profundidad a la que se produce esta rotura, siendo H_s la altura de ola significativa calculada en el apartado 4.1.2.

$$d = \frac{H_s}{0.8} = \frac{11.73}{0.8} = 14.66 \text{ metros}$$

Así pues, se verifica que la rotura del oleaje ocurre antes de llegar al contradique, es decir, se produce la rotura por fondo.

A continuación, se va a obtener la altura de ola en profundidades definidas. Se tendrá en cuenta la refracción y el asomeramiento.

La propagación del oleaje se realizará mediante el programa Cress.nl. En este programa se estudiarán los siguientes apartados: *Waves at the breaking point* (Oleaje en el punto rompiente) y *Refraction parallel contourlines* (Refracción batimétricas paralelas).

Para el apartado *Waves at the breaking point* (Oleaje en el punto rompiente) serán necesarios los siguientes datos:

- Dirección.
- T_m : Período medio (será $T_m \approx 0.8 \times T_p = 10.56$ segundos).
- H_s : Altura de ola significativa (calculada en el apartado 4.1.2.).

- Θ : Dirección de la ola respecto a la perpendicular a la línea de costa (a continuación, se añaden los ángulos correspondientes que forman las direcciones a estudiar):

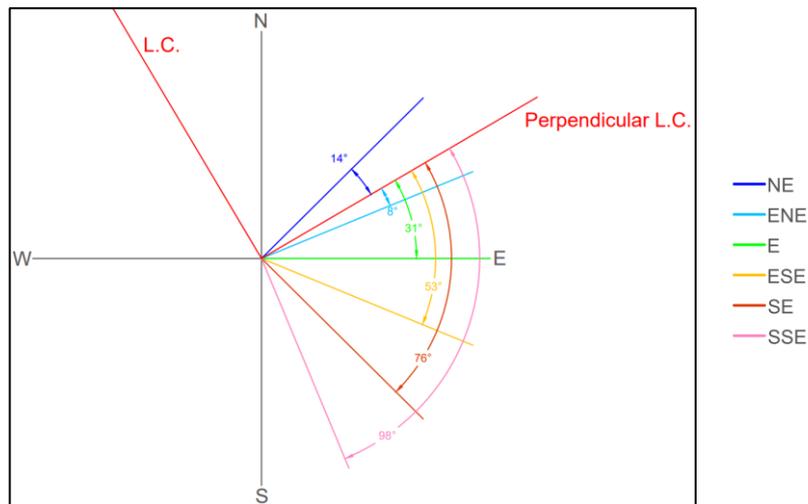


Imagen 12. Ángulos de incidencia (Elaboración propia)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Dirección	T_m (s)	H_s (m)	ϑ (°)	H (m)
ENE	10,56	11,73	8	10,69
E	10,56	11,73	31	10,41
ESE	10,56	11,73	53	9,51
SE	10,56	11,73	76	6,69

Tabla 3. Datos y resultados del modelo Waves at the breaking point (Fuente: Elaboración propia)

Ahora se va a analizar el apartado *Refraction parallel contourlines* (Refracción batimétricas paralelas). Los datos necesarios serán los siguientes:

- hb: profundidad a pie de dique (se va a tomar la más desfavorable, en este caso, la profundidad a pie de contradique será de 5,50 metros más la carrera de marea en la zona de estudio, que es la suma de las mareas meteorológica y astronómica, siendo en total 6,4 metros).
- T_m : Período medio (calculado para el apartado *Waves at the breaking point*).
- H_s : Altura de ola significante (calculada en el apartado 4.1.2.).
- m: pendiente de fondo (en este caso hay una pendiente de fondo del 1%)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

<i>hb (m)</i>	<i>m (-)</i>	<i>Tm (s)</i>	<i>Hs (m)</i>	<i>Hb,Goda (m)</i>
6,40	1%	10,554	11,73	4,57

Tabla 4. Datos y resultados del modelo Refraction parallel contourlines (Fuente: Elaboración propia)

Vistos los resultados en ambos apartados, se puede concluir con que la altura de ola significativa será para todas las direcciones la misma: 4,57 metros. Además, se producirá rotura de ola por fondo en todas las direcciones.

5.2. RÉGIMEN MEDIO

De la misma manera que en el régimen extremal, se calculará con el mismo procedimiento para el régimen medio. En la siguiente tabla se introducirán los datos introducidos en el programa y el obtenido finalmente en el mismo programa.

Los datos de la tabla son los siguientes:

- Tm : Período medio (será $Tm \approx 0.8 \times Tp$)
- Hs : Altura de ola significativa (calculada en el apartado 4.2.1.).
- Θ : Dirección de la ola respecto a la perpendicular a la línea de costa (mismas que en el apartado anterior).
- H : Altura de ola significativa en régimen medio (resultados obtenidos en el Wave Calculator).

Los resultados finalmente serán los siguientes:

<i>Dirección</i>	<i>Tm (s)</i>	<i>Hs (m)</i>	<i>ϑ (°)</i>	<i>H (m)</i>
ENE	6,04	3,20	8	3,15
E	4,94	2,00	31	1,92
ESE	4,42	1,55	53	1,25
SE	4,10	1,20	76	0,69

Tabla 5. Datos y resultados del Wave Calculator (Fuente: Elaboración propia)

Por lo que, en régimen medio, la altura de ola significativa no romperá en ninguna dirección.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 6: ESTUDIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO



Índice

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	3
2.	<i>EL CAMBIO CLIMÁTICO</i>	4
	2.1. ESCENARIOS CLIMÁTICOS	5
	2.2. AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO AL ESTUDIO DE SOLUCIONES	6

Índice de Imágenes

Imagen 1. Proyecciones del aumento del nivel medio del mar local (m) en el período 2081-2100 (con respecto al período 1986-2005) para los escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha) en las costas españolas (Fuente: IH Cantabria)	4
Imagen 2. Cambio del nivel del mar global en relación con 1900 (Fuente: IPCC)	7
Imagen 3. Cambio del nivel del mar global según el escenario SSP5-8.5. (Fuente: IPCC)	7

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se van a tratar los efectos que puede tener sobre la costa el cambio climático. Para ello, este anejo se apoyará en los documentos y herramientas que proporciona el principal órgano internacional encargado de evaluar el conocimiento sobre el cambio climático: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Además, se analizará el cambio climático a nivel global y se explicará en profundidad que es el IPCC, los distintos escenarios que plantea y que soluciones proponen para reducir los efectos del cambio climático que se está produciendo.

2. EL CAMBIO CLIMÁTICO

Primeramente, para saber de qué se está hablando en este anejo, se va a definir qué es el cambio climático.

Según la IPCC, el cambio climático es: “Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.”

En lo que respecta al puerto de Gandía, el mayor problema que le afectará debido al cambio climático será el aumento del nivel del mar y el calentamiento del agua. Este fenómeno ocurre porque los océanos absorben calor, lo que eleva el nivel del mar y amenaza las zonas costeras. Además, el deshielo y la acidificación por CO2 dañan la vida marina.

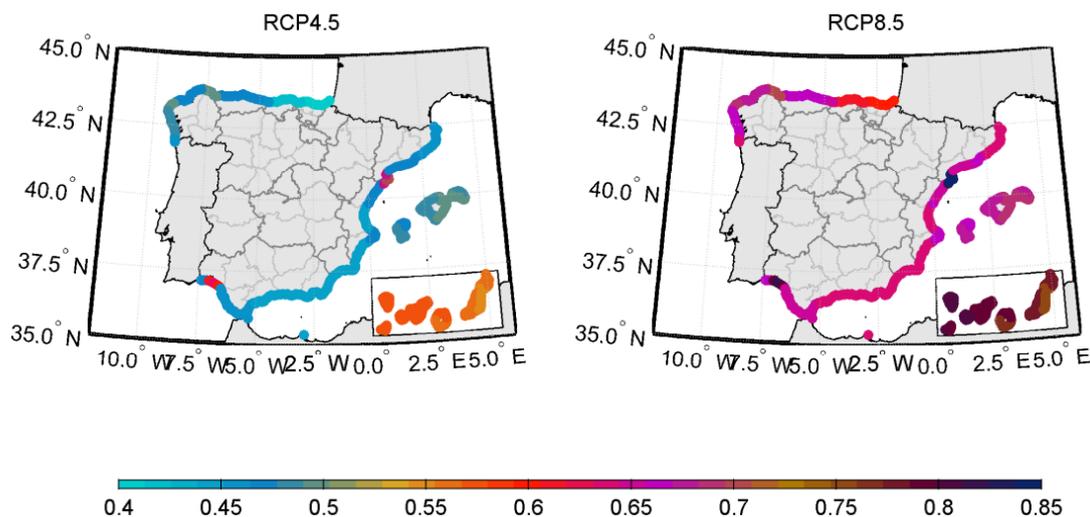


Imagen 1. Proyecciones del aumento del nivel medio del mar local (m) en el período 2081-2100 (con respecto al período 1986-2005) para los escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha) en las costas españolas (Fuente: IH Cantabria)

2.1. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

El último informe del panel climático de la ONU publicado usa cinco posibles escenarios para el futuro.

Estos escenarios resultan de cálculos complejos que están sujetos a la velocidad con que los seres humanos reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de esto, los cálculos también buscan abordar los cambios socioeconómicos en áreas como población, densidad urbana, educación, uso del suelo y riqueza. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) plantea varios escenarios para evaluar tanto el nivel de emisiones como la Senda Socioeconómica Compartida (SSP), utilizada en estos cálculos.

A continuación se explica en qué consisten cada uno de ellos:

- **SSP1-1.9:** El escenario más optimista, donde las emisiones de CO₂ se reducen a cero neto alrededor de 2050. Las sociedades adoptan prácticas sostenibles, enfocándose en el bienestar general sobre el crecimiento económico, con inversiones en educación y salud que reducen la desigualdad. Aunque aumentan los fenómenos meteorológicos extremos, se evitan los impactos más graves del cambio climático, manteniendo el calentamiento global en torno a 1.5 grados centígrados, disminuyendo a 1.4 grados hacia finales del siglo.
- **SSP1-2.6:** Similar al SSP1-1.9, pero con una reducción menos acelerada de las emisiones de CO₂, alcanzando cero neto después de 2050. Las temperaturas se estabilizan en aproximadamente 1.8 grados más altas hacia el final del siglo.
- **SSP2-4.5:** Un escenario intermedio donde las emisiones de CO₂ se mantienen en niveles actuales antes de comenzar a descender a mediados de siglo, alcanzando cero neto en 2100. Los cambios socioeconómicos siguen tendencias históricas sin grandes alteraciones. Las temperaturas aumentan en 2.7 grados hacia finales del siglo.
- **SSP3-7.0:** En este escenario, las emisiones y temperaturas aumentan constantemente, con las emisiones de CO₂ duplicándose para 2100. Los países se vuelven más competitivos y priorizan la seguridad nacional y la autosuficiencia alimentaria. La temperatura promedio aumenta en 3.6 grados hacia finales del siglo.

- **SSP5-8.5:** El peor escenario, donde las emisiones de CO2 se duplican para 2050 debido a un rápido crecimiento económico basado en combustibles fósiles y altos consumos energéticos. La temperatura promedio global se eleva en 4.4 grados hacia 2100.

2.2. AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO AL ESTUDIO DE SOLUCIONES

Para el estudio de soluciones, se tendrán en cuenta los posibles cambios que podrían producirse a causa del cambio climático. Esto abarca la posibilidad de un incremento en el nivel del mar, lo que podría influir de manera considerable en el diseño y cálculo de las estructuras.

Las proyecciones indican que el nivel medio del mar a escala global muy probablemente continuará ascendiendo durante el siglo XXI. Tomando como referencia el período 1995-2014, se anticipan los siguientes incrementos para el año 2100:

- **Escenario de emisiones muy bajas (SSP1-1.9):** Entre 0.28 y 0.55 metros
- **Escenario de emisiones bajas (SSP1-2.6):** Entre 0.32 y 0.62 metros
- **Escenario de emisiones intermedias (SSP2-4.5):** Entre 0.44 y 0.76 metros
- **Escenario de emisiones muy altas (SSP5-8.5):** Entre 0.63 y 1.01 metros

Extendiendo las proyecciones hasta el año 2150, se estiman los siguientes aumentos:

- **Escenario de emisiones muy bajas (SSP1-1.9):** Entre 0.37 y 0.86 metros
- **Escenario de emisiones bajas (SSP1-2.6):** Entre 0.46 y 0.99 metros
- **Escenario de emisiones intermedias (SSP2-4.5):** Entre 0.66 y 1.33 metros
- **Escenario de emisiones muy altas (SSP5-8.5):** Entre 0.98 y 1.88 metros

Estas estimaciones se presentan con un nivel de confianza moderado y subrayan la importancia de considerar estos cambios en la planificación y diseño de estructuras a largo plazo. A continuación, se adjunta una gráfica que muestra el cambio de nivel medio del mar global en metros, en relación con 1900:

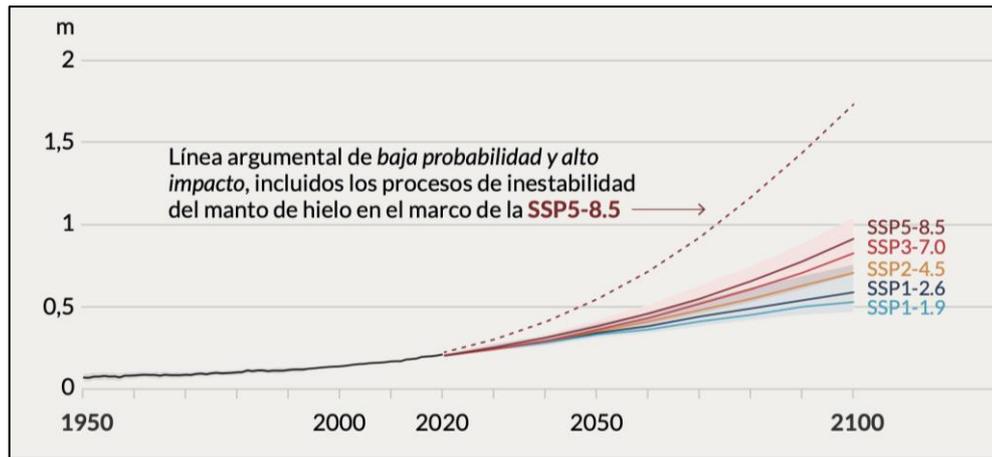


Imagen 2. Cambio del nivel del mar global en relación con 1900 (Fuente: IPCC)

Al analizar el gráfico previo, se puede observar que el escenario más adverso presenta una probabilidad baja de ocurrir. Sin embargo, dada la significativa magnitud de su impacto, se considerará en el análisis de soluciones la posibilidad de dicha elevación del nivel del mar. Este escenario pertenece al SSP5-8.5 y sugiere un incremento potencial del nivel del mar de 0.7 metros para el período 2023-2100, tal y como se muestra a continuación:

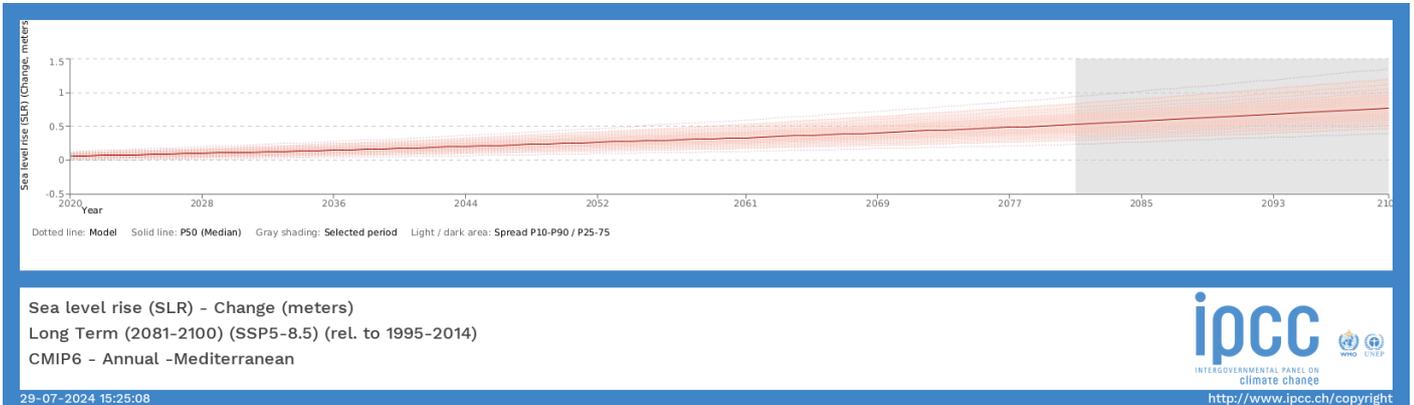


Imagen 3. Cambio del nivel del mar global según el escenario SSP5-8.5. (Fuente: IPCC)

Para asegurar la futura eficacia del contradique ante esta circunstancia hipotética, se tomará en cuenta en el cálculo de las estructuras la mencionada elevación del nivel del mar.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 7: ESTUDIO DE SOLUCIONES DE LAS OBRAS DE ABRIGO



Índice

1.	OBJETO.....	3
2.	TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS DE ABRIGO.....	4
	2.1. CONTRADIQUE VERTICAL.....	4
	2.2. CONTRADIQUE EN TALUD.....	4
	2.3. ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DEL CONTRADIQUE.....	5
3.	POSIBLES TIPOLOGÍAS DEL MANTO PRINCIPAL.....	6
	3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS ESTUDIADAS.....	6
	3.1.1. ESCOLLERA.....	6
	3.1.2. CUBO DE HORMIGÓN.....	6
	3.1.3. CUBÍPODO.....	7
	3.1.4. CORE-LOC.....	7
	3.2. CÁLCULO DEL PESO DE LOS ELEMENTOS DEL MANTO PRINCIPAL Y DEL FILTRO.....	8
4.	DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS.....	10

Índice de Imágenes

Imagen 1. Estructura dique vertical (Fuente: Asignatura Obras Marítimas).....	4
Imagen 2. Estructura dique en talud (Fuente: Asignatura Obras Marítimas)	5
Imagen 3. Cubo Fuente: Asignatura Obras Marítimas).....	6
Imagen 4. Cubípodo Fuente: Asignatura Obras Marítimas).....	7
Imagen 5. Core-Loc Fuente: Asignatura Obras Marítimas).....	8
Imagen 6. Ubicación de cada tramo en el nuevo contradique del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración propia) ..	11

Índice de Tablas

Tabla 1. Cálculo de los elementos del manto principal (Fuente: Elaboración propia)	9
Tabla 2. Diámetro nominal mínimo de cubípodos en el manto (Fuente: Elaboración propia)	10
Tabla 3. Profundidad a pie de dique, altura de ola significativa y longitud de cada uno de los tramos (Fuente: Elaboración propia).....	11

1. OBJETO

El objetivo de este anejo es identificar la tipología más adecuada para el contradique en el Puerto de Gandía. En particular, se enfoca en la selección de la unidad que conformará el manto del dique. Esto tiene gran importancia dado que, como se expondrá en este documento, constituye una parte sustancial del costo total de la obra. Para lograr una definición precisa del dique, se deberán llevar a cabo los siguientes pasos: elegir la unidad que conformará el manto principal, determinar el número de capas necesarias y calcular el peso de los bloques utilizando la fórmula de Hudson. Una vez que estos aspectos sean analizados, se seleccionarán tres de las tipologías estudiadas y estas serán exploradas en detalle en el siguiente anejo: "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas".

2. TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS DE ABRIGO

Los diques son estructuras marítimas destinadas para proporcionar la protección necesaria frente a la acción y efecto del oleaje, dando lugar a zonas abrigadas en los puertos. En este caso, el contradique es un segundo dique, construido cerca del primero para evitar inundaciones y detener las aguas. Existen distintos tipos de diques: verticales, en talud y mixtos.

2.1. CONTRADIQUE VERTICAL

Los diques verticales se componen de una base de escollera sobre la cual se sustenta una estructura de paredes verticales, por lo general monolítica, construida utilizando cajones de hormigón armado. En este caso, el oleaje incide sobre las paredes del dique y se refleja en él. La energía no se disipa, sino q se devuelve al mar, es decir, este tipo de dique funciona por reflexión.

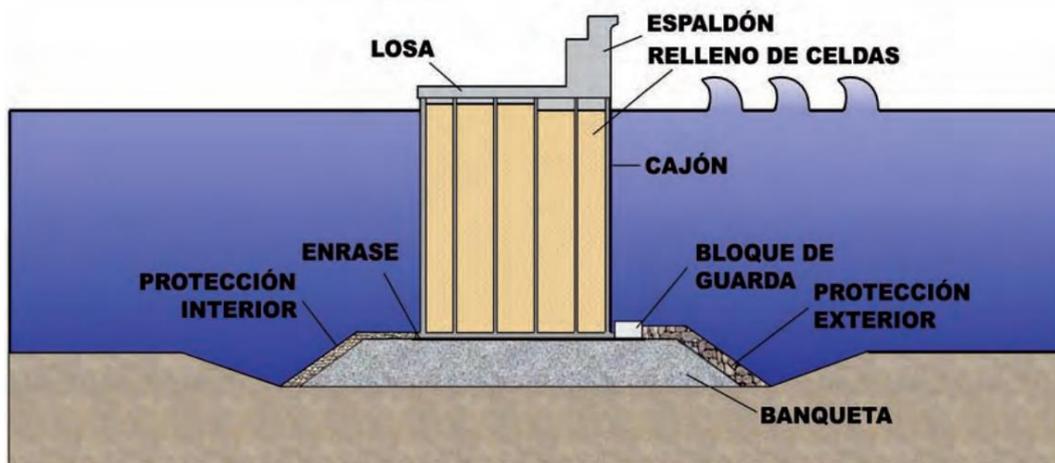


Imagen 1. Estructura dique vertical (Fuente: Asignatura Obras Marítimas).

2.2. CONTRADIQUE EN TALUD

Los diques en talud, también conocidos como diques rompeolas, son construcciones marítimas diseñadas para brindar protección a áreas específicas. Estos diques se componen de escolleras naturales y/o artificiales de diversos tamaños, además de contar frecuentemente con respaldos de hormigón. El oleaje cuando ataca a la estructura provoca la rotura de este, es decir, este tipo de dique funciona por disipación.

La estructura de esta tipología de dique es la siguiente:

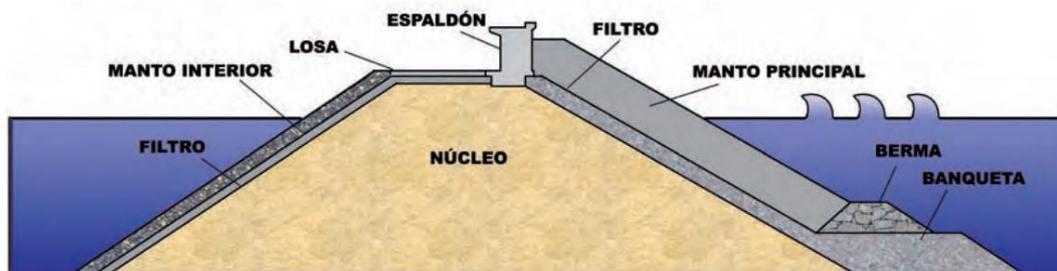


Imagen 2. Estructura dique en talud (Fuente: Asignatura Obras Marítimas)

2.3. ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DEL CONTRADIQUE

Para la construcción del nuevo contradique del puerto de Gandía, se tendrá una visión continuista y se optará por un contradique en talud. Se calcularán en el estudio de soluciones todos los elementos necesarios para que el contradique cumpla con los requisitos de la normativa.

En esta tipología de diques, el manto principal desempeña el papel crucial de resistir las fuerzas generadas por las olas que rompen sobre el talud durante condiciones climáticas extremas. El dique también cuenta con un núcleo de tamaño relativamente grande, que forma el cuerpo principal de la estructura.

Un componente adicional es el espaldón, un elemento rígido de dimensiones más reducidas en comparación con el resto del dique. Este espaldón cumple dos funciones importantes: prevenir el desbordamiento de las olas y facilitar el acceso al dique.

Entre el núcleo y el manto principal, que actúa como protección para el dique, se colocan una o varias capas de filtro compuestas por materiales granulares de tamaños progresivamente mayores. Estas capas de filtro tienen la función de evitar que las piedras más pequeñas del núcleo sean arrastradas hacia el exterior debido a las corrientes internas que se generan durante eventos climáticos intensos.

Para asegurar un soporte adecuado al manto principal, a excepción de cuando el sustrato sea rocoso, se recomienda construir una berma de pie. Esta berma cumple un doble propósito al proteger el terreno y la cimentación, mientras brinda apoyo a los mantos secundarios y principales. Su diseño se orienta hacia la estabilidad, garantizando que la primera fila de elementos del manto se coloque de manera adecuada.

3. POSIBLES TIPOLOGÍAS DEL MANTO PRINCIPAL

El cálculo del peso de los elementos del manto principal es el factor fundamental en el diseño de diques en talud. Este parámetro ejerce una influencia significativa en la configuración y el costo global de la obra, ya que afecta directamente el tamaño y espesor de todas las capas del dique (manto, filtros y núcleo), y, consecuentemente, el volumen total de los materiales involucrados.

A continuación, procederemos a realizar un estudio de las soluciones para el manto principal:

3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS ESTUDIADAS

3.1.1. ESCOLLERA

Se trata de un material extraído directamente de una cantera local, caracterizado por su alta resistencia estructural. El tamaño de estas piedras está restringido por la capacidad de extracción de una cantera cercana.

3.1.2. CUBO DE HORMIGÓN

Esta es una pieza sólida de forma cúbica que se emplea en mantos bicapa y se produce utilizando hormigón en masa. Su tamaño no está restringido, salvo por las limitaciones de los equipos de manipulación disponibles. Aunque posee una alta resistencia estructural, su coeficiente de estabilidad hidráulica es bajo. Durante los temporales, tiende a acomodarse en un patrón de adoquinado, donde las caras se organizan una contra la otra, lo que incrementa los daños y el riesgo de rebasamientos.



Imagen 3. Cubo Fuente: Asignatura Obras Marítimas).

Estas piezas pueden almacenarse en un área de almacenamiento durante la construcción, ya que muestran una baja porosidad. Además, se pueden manipular con facilidad utilizando pinzas de presión, lo que reduce los costes logísticos. Al colocarlas en el manto, se busca distribuirlas de manera aleatoria, pero asegurando la porosidad establecida en el proyecto (ud/m^2) y evitando el efecto de adoquinado.

3.1.3. CUBÍPODO

El cubípodo se destaca como una pieza robusta en la categoría de bloques cúbicos, presentando una resistencia estructural elevada. Su colocación en el talud es de manera aleatoria, y su porosidad se mantiene uniforme. Este componente facilita la construcción en una o dos capas y evita el fenómeno de adoquinamiento que es común en los bloques tradicionales. Además, supera las limitaciones típicas de otras piezas constructivas, lo que resulta en una mayor fiabilidad y, por ende, en una mayor seguridad del dique frente a condiciones de temporales.



Imagen 4. Cubípodo Fuente: Asignatura Obras Marítimas).

Comparado con el enfoque tradicional de manto bicapa con cubos convencionales, los mantos de cubípodos logran una reducción significativa en los caudales de rebase. Esto permite considerar la posibilidad de reducir la cota de coronación y el tamaño del espaldón, sin comprometer los caudales de rebase establecidos en el proyecto.

3.1.4. CORE-LOC

El Core-Loc se presenta como una pieza premoldeada que ofrece ventajas significativas en comparación con otras piezas. Uno de sus aspectos destacados es su estabilidad superior, manifestando menos movimientos en la coraza después de su colocación en la obra. Además, presenta una reducción notable en el volumen de hormigón utilizado, aproximadamente entre un 20% y un 30% menos en comparación con su predecesor.



Imagen 5. Core-Loc Fuente: Asignatura Obras Marítimas).

Es importante señalar que, aunque presenta ventajas, en ciertos tamaños puede requerir un mayor volumen de roca en la subcapa. Además, su coeficiente de estabilidad K_D es de 16, lo que contribuye a su desempeño en términos de estabilidad.

3.2. CÁLCULO DEL PESO DE LOS ELEMENTOS DEL MANTO PRINCIPAL Y DEL FILTRO

Para calcular el peso de los elementos del manto principal se utilizará la fórmula de Hudson (1959) aplicando los coeficientes de estabilidad publicados en el “Cubipod Manual 2016” (Medina y Gómez-Martín, 2016). La fórmula es la siguiente:

$$W = \frac{1}{K_D} \frac{H^3}{\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3} \frac{\gamma_r}{\cot \alpha}$$

Siendo:

- W : Peso medio de las piezas del manto principal (Tn)
- H : Altura de ola de diseño (m)
- γ : Peso específico de los elementos del manto (Tn/m³)
- γ_w : Peso específico del agua de mar, 1,025 Tn/m³
- α : Ángulo del talud respecto a la horizontal
- K_D : Coeficiente de estabilidad

Además, se calculará también el espesor de cada pieza en función del peso obtenido utilizando la siguiente fórmula:

$$D_n = \left(\frac{W}{\gamma}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- D_n : Diámetro nominal (m)
- W : Peso de la pieza (Tn)
- γ : Peso específico del material estudiado (Tn/m³)

Se van a estudiar tronco y morro del contradique de manera conjunta en la zona que se encuentre a mayor profundidad. Los resultados son los siguientes:

Tipo de pieza	Nº capas	Kd	cotg(α)	γ (t/m ³)	γ_w (t/m ³)	H (m)	W (t)	Dn (m)
Escollera	2	4	1,5	2,65	1,025	4,60	11,00	1,61
Cubo	2	6	1,5	2,35	1,025	4,60	11,77	1,71
Cubípodo monocapa	1	12	1,5	2,35	1,025	4,60	5,88	1,36
Core-loc	1	15	1,33	2,35	1,025	4,60	5,31	1,31

Tabla 1. Cálculo de los elementos del manto principal (Fuente: Elaboración propia)

Según el “Cubipod Manual 2016”, el tamaño de los cubípodos para diseñar mantos estables a rotura por fondo, con talud $\cot\alpha=1.5$ y para cualquier clima marítimo tienen que cumplir la siguiente condición:

Mantos monocapa:

$$D_n > \frac{h}{7 * \Delta} = \frac{h_s * (1 + 3 \tan\beta)}{7 * \Delta}$$

Siendo para ambos casos:

- h_s : profundidad a pie de dique.
- $\Delta = \left(\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1\right)$
- β : ángulo que forma el fondo con la horizontal.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tipo de pieza	hs (m)	β : (°)	h (m)	γ (t/m ³)	γ_w (t/m ³)	Δ	W (t)	Dn (m)
Cubípodo monocapa	5,5	0,567	5,67	2,35	1,025	1,29	0,58	0,63

Tabla 2. Diámetro nominal mínimo de cubípodos en el manto (Fuente: Elaboración propia).

Vistos los resultados, se puede comprobar que el espesor de los cubípodos calculados anteriormente son mayores que los obtenidos, y, por tanto, cumplen con esta condición.

4. DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación, se van a definir las posibles soluciones que se van a estudiar para la sección del nuevo contradique:

- Alternativa 1: Escollera.
- Alternativa 2: Cubo de hormigón.
- Alternativa 3: Cubípodo.
- Alternativa 4: Core-Loc.

Para lograr un dimensionamiento más preciso de las distintas alternativas, se ha decidido dividir la estructura en tres tramos. Cada uno de estos tramos se caracteriza por tener una profundidad diferente al pie del dique, lo que resulta en una altura de ola significativa distinta para cada sección. Esta división permite optimizar el dimensionamiento de la estructura de manera más eficiente.

Con el fin de facilitar la comprensión del nuevo diseño del contradique y visualizar claramente la división en tramos, se incluye una imagen ilustrativa. En esta representación gráfica, se puede observar la ubicación específica de cada uno de los tres tramos mencionados.

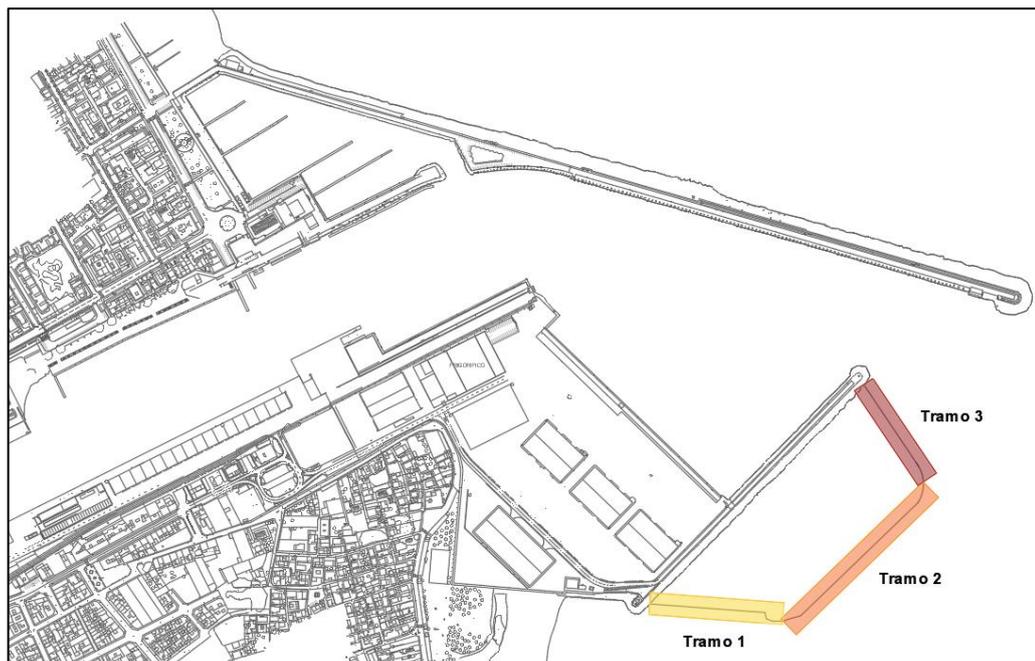


Imagen 6. Ubicación de cada tramo en el nuevo contradique del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, se incluye una tabla que muestra las alturas de ola significativa, la profundidad al pie del dique y longitud de cada uno de los tramos:

Tramo	h_s (m)	H (m)	Longitud (m)
1a Alineación	3,00	2,38	190
2a Alineación	4,50	3,50	260
3a Alineación	5,50	4,60	170

Tabla 3. Profundidad a pie de dique, altura de ola significativa y longitud de cada uno de los tramos (Fuente: Elaboración propia).

Siendo:

- h_s : profundidad a pie de dique (m).
- H: Altura de ola de diseño (m).

En el siguiente anejo: “Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas” se analizarán cada una de las alternativas y se concluirá con la elección de una de ellas de manera justificada.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 8: DIMENSIONAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS



Índice

1.	OBJETO.....	9
2.	DIMENSIONAMIENTO DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS.	10
2.1.	DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA 1: ESCOLLERA.....	10
2.1.1.	DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL.....	10
2.1.2.	DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO	10
2.1.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE	11
2.1.4.	DETERMINACIÓN DE LA COTA DE CORONACIÓN.....	14
2.1.5.	CÁLCULO DEL ESPALDÓN	15
2.1.6.	COMPROBACIONES	24
2.2.	DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA 2: CUBO DE HORMIGÓN	27
2.2.1.	DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL.....	27
2.2.2.	DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO	28
2.2.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE	28
2.2.4.	DETERMINACIÓN DE LA COTA DE CORONACIÓN.....	31
2.2.5.	CÁLCULO DEL ESPALDÓN	32
2.2.6.	COMPROBACIONES	39
2.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA 3: CUBÍPODO.	42
2.3.1.	DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL.....	42
2.3.2.	DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO	43
2.3.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE	43
2.3.4.	DETERMINACIÓN DE LA COTA DE CORONACIÓN.....	46
2.3.5.	CÁLCULO DEL ESPALDÓN	47
2.3.6.	COMPROBACIONES	54
2.4.	DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA 4: CORE-LOC.....	57
2.4.1.	DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL.....	57
2.4.2.	DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO	57
2.4.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE	58
2.4.4.	DETERMINACIÓN DE LA COTA DE CORONACIÓN.....	61
2.4.5.	CÁLCULO DEL ESPALDÓN	62
2.4.6.	COMPROBACIONES	69

Índice de Imágenes

Imagen 1. Sección tipo de un dique con un manto apoyado en una berma de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)	12
Imagen 2. Sección tipo CIRIA y otros (2007) para diseñar bermas de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)	13
Imagen 3. Fuerzas que actúan sobre el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016)	18
Imagen 4. Dimensiones del espaldón para el contradique de escollera para la 1ª Alineación, 2ª Alineación y 3ª Alineación respectivamente (Fuente: Elaboración propia)	24
Imagen 5. Sección tipo de de un dique con un manto apoyado en una berma de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)	29
Imagen 6. Sección tipo CIRIA y otros (2007) para diseñar bermas de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)	30
Imagen 7. Fuerzas que actúan sobre el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016)	35
Imagen 8. Dimensiones del espaldón del contradique de cubos de hormigón para la 2ª Alineación y 3ª Alineación respectivamente (Fuente: Elaboración propia)	39
Imagen 9. Sección tipo de de un dique con un manto apoyado en una berma de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)	44
Imagen 10. Sección tipo CIRIA y otros (2007) para diseñar bermas de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)	45
Imagen 11. Fuerzas que actúan sobre el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016)	50
Imagen 12. Dimensiones del espaldón del contradique de cubípedos para la 2ª Alineación y 3ª Alineación respectivamente (Fuente: Elaboración propia)	54
Imagen 13. Sección tipo de de un dique con un manto apoyado en una berma de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)	59
Imagen 14. Sección tipo CIRIA y otros (2007) para diseñar bermas de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)	60
Imagen 15. Fuerzas que actúan sobre el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016)	65
Imagen 16. Dimensiones del espaldón del contradique de core-loc de 2ª Alineación y 3ª Alineación respectivamente (Fuente: Elaboración propia)	69

Índice de Tablas

Tabla 1. Peso y espesor del manto principal (Fuente: Elaboración propia)	10
Tabla 2. Características de los materiales a colocar en el manto principal (Fuente: Elaboración propia)	10
Tabla 3. Peso y espesor del filtro (Fuente: Elaboración propia).....	11
Tabla 4. Altura de ola que puede resistir la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).....	13
Tabla 5. Comparación entre la altura de ola de cálculo y la altura de ola que es capaz de soportar la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).....	13
Tabla 6. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).....	13
Tabla 7. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).....	14
Tabla 8. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).....	15
Tabla 9. Cotas de coronación de cada capa (Fuente: Elaboración propia)	15
Tabla 10. Rebases medios según situación (Fuente: Eurotop 2018).....	16
Tabla 11. Cálculo del valor q para 1ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	17
Tabla 12. Cálculo del valor q para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	17
Tabla 13. Cálculo del valor q para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	17
Tabla 14. Cálculo del valor q para 1ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia)	17
Tabla 15. Cálculo del valor q para 2ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia)	18
Tabla 16. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia)	18
Tabla 17. Cálculo de I_{rm} (Fuente: Elaboración propia).....	20
Tabla 18. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).....	20
Tabla 19. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia)	20
Tabla 20. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)	20
Tabla 21. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	21
Tabla 22. Cálculo de I_{rm} (Fuente: Elaboración propia).....	21

Tabla 23. Cálculo de Ru (Fuente: Elaboración propia).....	21
Tabla 24. Cálculo de Lm (Fuente: Elaboración propia)	21
Tabla 25. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)	21
Tabla 26. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)	22
Tabla 27. Cálculo de Irm (Fuente: Elaboración propia).....	22
Tabla 28. Cálculo de Ru (Fuente: Elaboración propia).....	22
Tabla 29. Cálculo de Lm (Fuente: Elaboración propia)	22
Tabla 30. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)	22
Tabla 31. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)	23
Tabla 32. Momento volcador para cada tramo (Fuente: Elaboración propia)	23
Tabla 33. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 1ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	25
Tabla 34. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	25
Tabla 35. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	25
Tabla 36. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 1ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	26
Tabla 37. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	26
Tabla 38. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	26
Tabla 39. Peso y espesor del manto principal (Fuente: Elaboración propia).	27
Tabla 40. Características de los materiales a colocar en el manto principal (Fuente: Elaboración propia).	27
Tabla 41. Peso y espesor del filtro (Fuente: Elaboración propia).....	28
Tabla 42. Altura de ola que puede resistir la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).....	30
Tabla 43. Comparación entre la altura de ola de cálculo y la altura de ola que es capaz de soportar la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).....	30
Tabla 44. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).....	30

Tabla 45. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).....	31
Tabla 46. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).....	32
Tabla 47. Cotas de coronación de cada capa (Fuente: Elaboración propia).....	32
Tabla 48. Rebases medios según situación (Fuente: Eurotop 2018).....	33
Tabla 49. Cálculo del valor q para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).....	33
Tabla 50. Cálculo del valor q para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).....	34
Tabla 51. Cálculo del valor q para 2ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia).....	34
Tabla 52. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia).....	34
Tabla 53. Cálculo de I_{rm} (Fuente: Elaboración propia).....	36
Tabla 54. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).....	36
Tabla 55. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).....	37
Tabla 56. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	37
Tabla 57. Cálculo de I_{rm} (Fuente: Elaboración propia).....	37
Tabla 58. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).....	37
Tabla 59. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).....	38
Tabla 60. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	38
Tabla 61. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	38
Tabla 62. Momento volcador para cada tramo (Fuente: Elaboración propia).....	38
Tabla 63. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).	40
Tabla 64. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).	40
Tabla 65. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).....	41
Tabla 66. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).....	41
Tabla 67. Peso y espesor del manto principal (Fuente: Elaboración propia).....	42

Tabla 68. Características de los materiales a colocar en el manto principal (Fuente: Elaboración propia).....	42
Tabla 69. Peso y espesor del filtro (Fuente: Elaboración propia).....	43
Tabla 70. Altura de ola que puede resistir la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).....	45
Tabla 71. Comparación entre la altura de ola de cálculo y la altura de ola que es capaz de soportar la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).....	45
Tabla 72. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).....	46
Tabla 73. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).....	46
Tabla 74. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).....	47
Tabla 75. Cotas de coronación de cada capa (Fuente: Elaboración propia).....	47
Tabla 76. Rebases medios según situación (Fuente: Eurotop 2018).....	48
Tabla 77. Cálculo del valor q para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).....	49
Tabla 78. Cálculo del valor q para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).....	49
Tabla 79. Cálculo del valor q para 2ª Alineación con R_c aumentado (Fuente: Elaboración propia).....	49
Tabla 80. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con R_c aumentado (Fuente: Elaboración propia).....	49
Tabla 81. Cálculo de I_{rm} (Fuente: Elaboración propia).....	51
Tabla 82. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).....	52
Tabla 83. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).....	52
Tabla 84. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	52
Tabla 85. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	52
Tabla 86. Cálculo de I_{rm} (Fuente: Elaboración propia).....	52
Tabla 87. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).....	53
Tabla 88. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).....	53
Tabla 89. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	53
Tabla 90. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	53
Tabla 91. Momento volcador para cada tramo (Fuente: Elaboración propia).....	54

Tabla 92. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).	55
Tabla 93. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).	55
Tabla 94. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).	56
Tabla 95. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).	56
Tabla 96. Peso y espesor del manto principal (Fuente: Elaboración propia).	57
Tabla 97. Características de los materiales a colocar en el manto principal (Fuente: Elaboración propia).	57
Tabla 98. Peso y espesor del filtro (Fuente: Elaboración propia).	58
Tabla 99. Altura de ola que puede resistir la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).	60
Tabla 100. Comparación entre la altura de ola de cálculo y la altura de ola que es capaz de soportar la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).	60
Tabla 101. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).	60
Tabla 102. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).	61
Tabla 103. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).	62
Tabla 104. Cotas de coronación de cada capa (Fuente: Elaboración propia).	62
Tabla 105. Rebases medios según situación (Fuente: Eurotop 2018).	63
Tabla 106. Cálculo del valor q para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).	63
Tabla 107. Cálculo del valor q para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).	64
Tabla 108. Cálculo del valor q para 2ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia).	64
Tabla 109. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia).	64
Tabla 110. Cálculo de I_{rm} (Fuente: Elaboración propia).	66
Tabla 111. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).	66
Tabla 112. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).	67
Tabla 113. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).	67

Tabla 114. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	67
Tabla 115. Cálculo de I_{rm} (Fuente: Elaboración propia).....	67
Tabla 116. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).....	67
Tabla 117. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).....	68
Tabla 118. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia) .	68
Tabla 119. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).....	68
Tabla 120. Momento volcador para cada tramo (Fuente: Elaboración propia).....	68
Tabla 121. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).....	70
Tabla 122. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).....	70
Tabla 123. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)....	71
Tabla 124. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)....	71

1. OBJETO

En este anejo se desarrollarán las alternativas elegidas en el “Anejo nº7: Estudio de soluciones de las obras de abrigo”.

2. DIMENSIONAMIENTO DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS.

2.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA 1: ESCOLLERA.

2.1.1. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL

Para la determinación del peso y el espesor del manto se procederá de la misma manera que en el anejo anterior. Los resultados obtenidos para cada tramo son los siguientes:

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	Kd	cotg(α)	γ (t/m ³)	γw (t/m ³)	H (m)	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	4	1,5	2,65	1,025	2,38	1,49	0,83
2a Alineación	Escollera	2	4	1,5	2,65	1,025	3,5	4,75	1,21
3a Alineación	Escollera	2	4	1,5	2,65	1,025	4,6	10,79	1,60

Tabla 1. Peso y espesor del manto principal (Fuente: Elaboración propia)

El espesor del manto principal se calcula con la siguiente fórmula:

$$e = n * D_{n50}$$

Siendo:

- n: número de capas.
- $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma}}$, dónde W el peso de la pieza (t); γ es la densidad de la pieza (t/m³).

En la siguiente tabla se recoge un resumen de los materiales que se colocarán en el manto principal:

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	1,50	0,85
2a Alineación	Escollera	2	5,00	1,25
3a Alineación	Escollera	2	11,00	1,60

Tabla 2. Características de los materiales a colocar en el manto principal (Fuente: Elaboración propia)

2.1.2. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO

Entre el núcleo y el manto principal que protege al contradique, es esencial incorporar una o varias capas de filtro compuestas por materiales granulares de tamaños progresivamente

mayores. Estas capas de filtro tienen la función de prevenir que las piedras más pequeñas del núcleo sean arrastradas hacia el exterior debido a las corrientes que se forman dentro del contradique durante condiciones climáticas extremas.

Para diseñar las capas intermedias del contradique en talud, se utiliza como criterio la relación entre el tamaño de las piedras o elementos en la capa superior y el tamaño de las piedras en la capa inferior. Esta relación no debe ser mayor a 2.5 veces, y se sitúa en un rango de pesos entre $W/10$ y $W/20$. Al cumplir con este criterio de filtro, se asegura que las piedras más pequeñas en la capa inferior no puedan pasar a través de los espacios entre las piedras o elementos en la capa superior.

Para la construcción del filtro de esta capa se utilizará la escollera que se encuentra en el contradique actual, así no sería necesaria escollera de una cantera.

Siendo W el peso del manto principal (calculado en el apartado anterior) y W_{filtro} el peso del elemento del filtro, se obtienen los siguientes resultados:

Tramo	W (t)	$W_{\text{min filtro}}$ (t)	$W_{\text{máx filtro}}$ (t)	W_{filtro} (t)	Nº de Capas	D_n (m)
1a Alineación	1,5	0,075	0,15	0,1	2	0,35
2a Alineación	5	0,25	0,5	0,5	2	0,60
3a Alineación	11	0,55	1,1	0,8	2	0,70

Tabla 3. Peso y espesor del filtro (Fuente: Elaboración propia)

2.1.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE

Para proporcionar un soporte adecuado al manto principal, que en este caso es un manto bicapa, es aconsejable la construcción de una berma de pie. Esta estructura debe ser diseñada de manera que garantice su estabilidad, asegurando así la correcta disposición de la primera fila de elementos que componen el manto.

El peso de los elementos que forman la berma de pie suele estar comprendido entre el 10% y el 20% del peso de las piezas del manto, dependiendo de la profundidad del dique y de la profundidad de la berma. La forma que tiene esta berma de pie es trapecial.

Debido a que la construcción de la berma de pie supone una parte pequeña de la estructura y suele tener un coste reducido, se suele diseñar con un margen de seguridad muy superior al del manto principal.

Además, será necesaria la construcción de una banqueta de protección contra la socavación, ya que el contradique se va a apoyar sobre material sedimentario (arena). Esto se debe a que la superficie de arena está en equilibrio dinámico con las corrientes marinas de la zona (sin contradique) y la construcción del dique altera este equilibrio dinámico, por lo que genera nuevas corrientes que pueden socavar el fondo marino sedimentario.

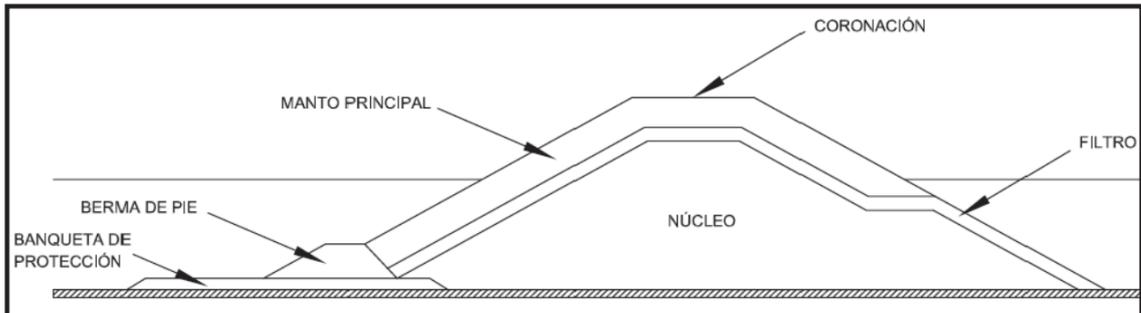


Imagen 1. Sección tipo de un dique con un manto apoyado en una berma de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)

Para dimensionar la berma de pie se utilizará la fórmula de Van der Meer (1998) propuesta por CIRIA y otros (2007), es decir, la siguiente fórmula:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \left(2 + 6.2 \left(\frac{h_t}{h_s} \right)^{2.7} \right) N_{od}^{0.15}$$

Donde:

- H_s : altura de ola significativa.
- D_{n50} : diámetro nominal de la escollera de la berma de pie en metros. Para obtenerlo es necesario saber el peso de la escollera de la berma, que será el 10% del peso de los elementos que forman el manto.
- $\Delta = \left(\frac{\gamma}{\gamma_s} - 1 \right)$
- h_t : profundidad de la berma de pie.
- h_s : profundidad a pie de dique.
- N_{od} : variable que indica el daño en la berma. Se consideran daños despreciables, por lo que su valor será de 1.

La imagen siguiente muestra la sección de CIRIA para calcular la berma de pie:

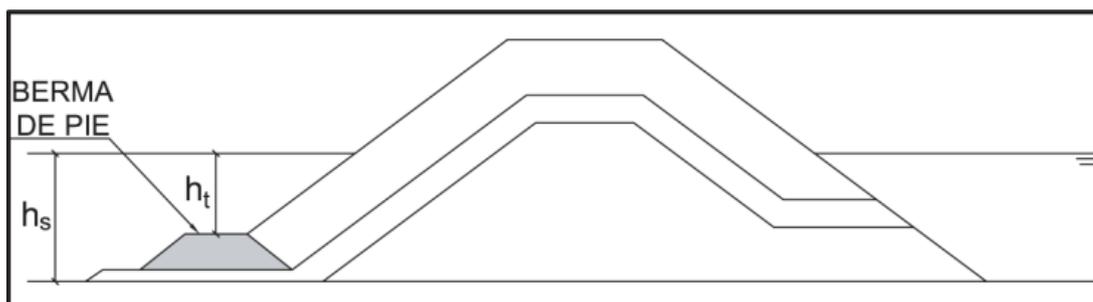


Imagen 2. Sección tipo CIRIA y otros (2007) para diseñar bermas de pie (Fuente: Manual del cubípodo 2015)

La fórmula previa se emplea para determinar la altura de la ola que la berma puede resistir:

Tramo	W (t)	Dn50 (m)	Δ	ht (m)	hs (m)	Nod	Hs (m)
1a Alineación	0,1	0,34	1,59	2,33	3	1	2,73
2a Alineación	0,5	0,57	1,59	3,30	4,5	1	4,46
3a Alineación	0,8	0,67	1,59	4,10	5,5	1	5,33

Tabla 4. Altura de ola que puede resistir la berma de pie (Fuente: Elaboración propia)

Al contrastar la altura de ola de cálculo (H) con la capacidad de soporte de la berma de pie (Hs):

Tramo	H (m)	Hs (m)
1a Alineación	2,38	2,73
2a Alineación	3,50	4,46
3a Alineación	4,60	5,33

Tabla 5. Comparación entre la altura de ola de cálculo y la altura de ola que es capaz de soportar la berma de pie (Fuente: Elaboración propia)

Se comprueba que la berma dimensionada para cada tramo es capaz de soportar la altura de ola de cálculo. Por lo que las dimensiones de la berma para cada tramo resultan:

Tramo	Anchura coronación (m)	Espesor (m)
1a Alineación	1,3	0,7
2a Alineación	2,4	1,2
3a Alineación	2,8	1,4

Tabla 6. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie (Fuente: Elaboración propia)

2.1.4. DETERMINACIÓN DE LA COTA DE CORONACIÓN

Tal y como dice la “ROM 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las obras de abrigo”, aquellos diques que se encuentran sometidos a oleaje limitado por el fondo, el francobordo de la estructura para evitar rebases se puede aproximar a H_b , que es la altura de cálculo y coincide con la altura de rotura del oleaje.

La cota de coronación del manto no debe ser inferior a $0.75 * H_b$, que corresponde a la cota mínima de la mota de trabajo.

Las cotas obtenidas para cada tramo, considerando la carrera de marea existente, que en el caso del Puerto de Gandía es de 0.86 metros, se muestran a continuación:

Tramo	Cotas de coronación (m)	
	Espaldón	Manto
1a Alineación	2,38	1,79
2a Alineación	3,50	2,63
3a Alineación	4,60	3,45

Tabla 7. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia)

La construcción del dique se realizará por medios terrestres, por lo que será necesario aplicar una mota de trabajo. Por lo tanto, la coronación del núcleo deberá estar situada como mínimo 1 metro por encima del PMVE (Pleamar de Marea Viva Equinoccial).

En los mantos de escollera es recomendable que la zona superior tenga un espesor de $2 * D_n$ en coronación.

También, al considerar la cota de coronación, es esencial tener en mente las potenciales repercusiones del cambio climático que podrían impactar en el contradique. Estas implicaciones han sido exhaustivamente analizadas en el "Anejo nº6: Estudio del cambio climático". Con el objetivo de prevenir posibles complicaciones en el futuro, se dará debida atención al aumento proyectado del nivel del mar, como se detalla en dicho anejo, el cual prevé un incremento de 0.7 metros en el nivel del mar.

Por lo que las cotas de coronación mínimas serán las siguientes:

- Cota de coronación manto = espesor manto + espesor filtro + 1 + carrera de marea
- Cota de coronación espaldón = espesor manto + espesor filtro + 1 + carrera de marea

Tramo	Espesor manto (m)	Espesor filtro (m)	Cotas de coronación (m)	
			Espaldón	Manto
1a Alineación	1,70	0,70	4,26	4,26
2a Alineación	2,50	1,20	5,56	5,56
3a Alineación	3,20	1,40	6,46	6,46

Tabla 8. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia)

Se han obtenido cotas superiores a las calculadas en la *tabla 7*, por lo que se tomarán las cotas de la *tabla 8*. Finalmente, las cotas de coronación de cada capa y del espaldón del contradique sobre el NMMA teniendo en cuenta la carrera de marea serán las siguientes:

Tramo	Cotas de coronación (m)			
	Núcleo	Filtro	Espaldón	Manto
1a Alineación	1,86	2,56	4,26	4,26
2a Alineación	1,86	3,06	5,56	5,56
3a Alineación	1,86	3,26	6,46	6,46

Tabla 9. Cotas de coronación de cada capa (Fuente: Elaboración propia)

2.1.5. CÁLCULO DEL ESPALDÓN

2.1.5.1. REBASES

Para realizar correctamente el cálculo y diseño del espaldón, se realizará una comprobación del cumplimiento del rebase sobre la cota de coronación calculada para el mismo espaldón el apartado 2.1.4.

Para realizar este análisis nos remitiremos a las tablas que hay en el EurOtop 2018 para saber según las tablas cual es el mayor rebase medio que puede haber en este contradique y para calcular cuál es ese rebase se utilizará la fórmula de Smolka (2009).

La tabla que se muestra a continuación, sacada del EurOtop 2018 muestra el valor máximo del rebase medio (q) las distintas situaciones según el puerto. Este contradique se encuentra en la última situación, pudiendo valer el rebase medio (q) como máximo 1 (l/s/m).

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V _{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H _{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H _{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

Tabla 10. Rebases medios según situación (Fuente: Eurotop 2018)

Por otro lado, para el cálculo del rebase medio se utilizará la ecuación de Smolka (2009), que se muestra a continuación:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = D_1 \cdot \exp\left(D_2 \cdot Ir_p - D_3 \cdot \frac{A_c}{R_c} - D_4 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f}\right)$$

Siendo:

- g: Aceleración.
- H_{m0}: Altura de ola significativa a pie de dique.
- R_c: Francobordo de la estructura.
- A_c: Francobordo de la berma superior del manto.
- γ_f: Factor de rugosidad. En escolleras puede variar el valor entre 0,4 y 0,6 por lo que cogemos 0,6 para estar del lado de la seguridad.

$$Ir_p = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{2\pi H_s / (g T_{01}^2)}}$$

- D₁ = 0.2
- D₂ = 0.53
- D₃ = 3.27
- D₄ = 2.16

1ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	I_{rp}	Ac (m)	Rc (m)	γf	q (l/s/m.l)
9,81	2,38	0,20	0,53	3,27	2,16	6,72	3,53	3,53	0,60	14,76

Tabla 11. Cálculo del valor q para 1ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)**2ª Alineación**

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	I_{rp}	Ac (m)	Rc (m)	γf	q (l/s/m.l)
9,81	3,50	0,20	0,53	3,27	2,16	5,54	4,86	4,86	0,60	14,35

Tabla 12. Cálculo del valor q para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)**3ª Alineación**

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	I_{rp}	Ac (m)	Rc (m)	γf	q (l/s/m.l)
9,81	4,60	0,20	0,53	3,27	2,16	4,83	5,70	5,70	0,60	11,95

Tabla 13. Cálculo del valor q para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

Se observa que para los tres tramos el valor q está fuera de los parámetros, por lo que habrá problemas con los rebases. Es por eso por lo que se decide aumentar el francobordo de la estructura (R_c) en los tres tramos con el fin de obtener un rebase medio inferior a 1 (l/s/m).

En las siguientes tablas se observan los parámetros con los nuevos francobordos de las estructuras mínimos para poder cumplir con los requisitos exigidos por el EurOtop 2018 para la situación del nuevo contradique:

1ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	I_{rp}	Ac (m)	Rc aumentado (m)	γf	q (l/s/m.l)
9,81	2,38	0,20	0,53	3,27	2,16	6,72	3,53	6,33	0,60	0,91

Tabla 14. Cálculo del valor q para 1ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia)**2ª Alineación**

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	l_{rp}	A_c (m)	R_c aumentado (m)	γ_f	q (l/s/m.l)
9,81	3,50	0,20	0,53	3,27	2,16	5,54	4,86	8,66	0,60	0,99

Tabla 15. Cálculo del valor q para 2ª Alineación con R_c aumentado (Fuente: Elaboración propia)

3ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	l_{rp}	A_c (m)	R_c aumentado (m)	γ_f	q (l/s/m.l)
9,81	4,60	0,20	0,53	3,27	2,16	4,83	5,70	9,90	0,60	0,97

Tabla 16. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con R_c aumentado (Fuente: Elaboración propia)

Con estos aumentos del francobordo de la estructura (R_c), el rebase medio para los tres tramos es inferior al indicado en el EurOtop 2018. Este aumento del francobordo de la estructura afectará a la cota de coronación del espaldón.

2.1.5.2. FUERZAS SOBRE EL ESPALDÓN

Para determinar la fuerza horizontal máxima (F_h) y la fuerza vertical (subpresiones) producidas sobre el espaldón del contradique en talud correspondiente a la ola que ha generado la fuerza horizontal máxima ($F_v(F_h)$) se utilizará el método propuesto en el “Cubipod Manual 2016”, el cual se basa en las ecuaciones publicadas por Molines (2016). A pesar de que estas acciones están separadas en el tiempo, se considera que se producen en el mismo instante, quedando esta suposición del laso de la seguridad.

A continuación, se muestra un esquema de las fuerzas utilizadas por Molines (2016) para el cálculo de la estabilidad del espaldón:

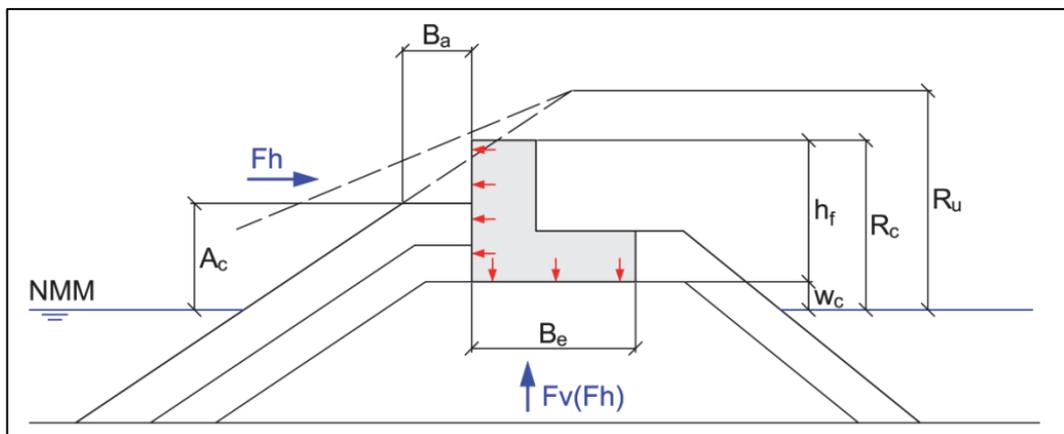


Imagen 3. Fuerzas que actúan sobre el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016)

Para estimar F_h y F_v (F_h), Molines (2016) propone las siguientes fórmulas:

$$\frac{F_h}{0.5\rho_w g h_f^2} = \left(-1.29 + 1.80 \frac{\gamma_f R_u}{R_c} + 0.93 \left(\frac{R_c - A_c}{h_f} \right) + 0.16 \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} \right)^2$$

$$\frac{F_v(F_h)}{0.5\rho_w g h_f B_e} = \left(-0.86 + 0.75 \frac{\gamma_f \times R_u}{R_c} + 0.41 \left(\frac{R_c - A_c}{h_f} \right) + 0.17 \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} - 0.9 \frac{W_c}{h_f} \right)^2$$

$$2.58 H_s > R_u = R_{u0.1\%} = \begin{cases} 1.12 H_s I_{r_m} & I_{r_m} \leq 1.5 \\ 1.34 H_s I_{r_m}^{0.55} & I_{r_m} > 1.5 \end{cases}$$

$$\text{siendo: } I_{r_m} = \tan \alpha / \sqrt{2\pi H_s / (g T_{01}^2)}$$

Siendo:

- R_c : Francobordo de la estructura.
- A_c : Francobordo de la berma superior del manto.
- γ_f : Factor de rugosidad. En escolleras puede variar el valor entre 0,4 y 0,6 por lo que cogeremos 0,6 para estar del lado de la seguridad.
- H_s : Altura de ola significativa a pie de dique.
- $\tan\alpha$: Pendiente de talud.
- W_c : Cota de cimentación del espaldón.
- B_a : Ancho de la berma superior.
- B_e : Anchura de la base del espaldón.
- h_f : Altura del espaldón.
- F_h : Fuerza horizontal máxima.
- ρ_w : Densidad del agua (Kg/m³ para N/m y dimensiones en metros).
- g : Aceleración.
- L_m : Longitud de onda local.
- $T_{01} = T_p / 1,2$

Los rangos de validez de las variables utilizadas en las ecuaciones son las siguientes:

- $0.31 < \gamma_f * (R_u/R_c) < 0.94$
- $0.07 < (R_c - A_c)/h_f < 0.59$

- $0.01 < w_c/h_f < 0.27$
- $3.13 < \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} < 6.54$

A continuación, se calculan las presiones y subpresiones para los tres tramos:

1ª Alineación:

- Primer paso: Se calcula I_{r_m} .

$\tan\alpha$	H_s (m)	$T01$ (s)	g (m/s ²)	I_{r_m}
0,67	2,38	12,44	9,81	6,72

Tabla 17. Cálculo de I_{r_m} (Fuente: Elaboración propia)

- Segundo paso: Se calcula R_u .

H_s (m)	I_{r_m}	R_u (m)
2,38	6,72	9,09

Tabla 18. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia)

La condición de este método es que $R_u < 2.58 * H_s = 6.14$ por lo que finalmente $R_u = 6.14$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	h_s (m)	L_m (m)
9,81	12,44	4,56	81,55

Tabla 19. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia)

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

ρw (kg/m ³)	g (m/s ²)	h_f (m)	γ_f	R_u (m)	$R_{c\text{Inicial}}$	R_c (m)	A_c (m)	L_m (m)	$B_a = 3 * D_n$ (m)	B_e (m)	w_c (m)
1,03	9,81	4,50	0,60	6,14	3,53	6,33	3,53	81,55	2,55	3,50	1,16

Tabla 20. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 20* se obtienen los siguientes valores:

F_h (kN/m)	$F_v(F_h)$ (kN/m)
155,71	7,29

Tabla 21. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)

2ª Alineación:

- Primer paso: Se calcula I_{r_m} .

$\tan\alpha$	H_s (m)	$T01$ (s)	g (m/s ²)	I_{r_m}
0,67	3,50	12,44	9,81	5,54

Tabla 22. Cálculo de I_{r_m} (Fuente: Elaboración propia)

- Segundo paso: Se calcula R_u .

H_s (m)	I_{r_m}	R_u (m)
3,50	5,54	12,03

Tabla 23. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia)

La condición de este método es que $R_u < 2.58 * H_s = 9.03$ por lo que finalmente $R_u = 9.03$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	h_s (m)	L_m (m)
9,81	12,44	6,06	93,39

Tabla 24. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia)

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

p_w (kg/m ³)	g (m/s ²)	h_f (m)	γ_f	R_u (m)	$R_{cInicial}$	R_c (m)	A_c (m)	L_m (m)	$Ba = 3 * D_n$ (m)	Be (m)	w_c (m)
1,03	9,81	6,80	0,60	9,03	4,86	8,66	4,86	93,39	3,75	5,00	1,16

Tabla 25. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 25* se obtienen los siguientes valores:

F_h (kN/m)	$F_v(F_h)$ (kN/m)
309,76	15,80

Tabla 26. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)

3ª Alineación:

- Primer paso: Se calcula I_{r_m} .

$\tan\alpha$	H_s (m)	$T01$ (s)	g (m/s ²)	I_{r_m}
0,67	4,60	12,44	9,81	4,83

 Tabla 27. Cálculo de I_{r_m} (Fuente: Elaboración propia)

- Segundo paso: Se calcula R_u .

H_s (m)	I_{r_m}	R_u (m)
4,60	4,83	14,66

 Tabla 28. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia)

La condición de este método es que $R_u < 2.58 * H_s = 11.87$ por lo que finalmente $R_u = 11.87$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	h_s (m)	L_m (m)
9,81	12,44	7,06	100,35

 Tabla 29. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia)

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

pw (kg/m ³)	g (m/s ²)	h_f (m)	γ_f	R_u (m)	$R_{c1nicial}$	R_c (m)	Ac (m)	L_m (m)	$Ba = 3 * D_n$ (m)	Be (m)	wc (m)
1,03	9,81	8,00	0,60	11,87	5,70	9,90	5,70	100,35	4,80	6,50	1,16

Tabla 30. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 30* se obtienen los siguientes valores:

Fh (kN/m)	Fv(Fh) (kN/m)
485,32	28,07

Tabla 31. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)

Calculados los elementos anteriores para los tres tramos con el método elegido, el factor de seguridad $S_1 = (W - Fv(Fh)) * m - Fh$ se puede estimar para calcular los factores de seguridad a deslizamiento y vuelco del espaldón.

El momento volcador debido a Fh y Fv(Fh) se puede obtener con las siguientes ecuaciones propuestas por Molines (2016):

$$M(Fh) = 0.55 * h_f * Fh$$

$$M(Fv(Fh)) = 2/3 * B_e * Fh(Fh)$$

Con estas ecuaciones obtenemos los momentos, en mKn/m, para cada uno de los tramos:

Tramo	M(Fh)	M(Fv(Fh))
1a Alineación	382,89	17,00
2a Alineación	1158,51	52,68
3a Alineación	2146,55	121,65

Tabla 32. Momento volcador para cada tramo (Fuente: Elaboración propia)

Las dimensiones del espaldón para cada uno de los tramos se muestran a continuación. Las dimensiones B_a , B_e y h_f son las que se han citado anteriormente, mientras que el resto de las dimensiones han sido estimadas para que se garantice la seguridad a lo largo de todo el contradique.

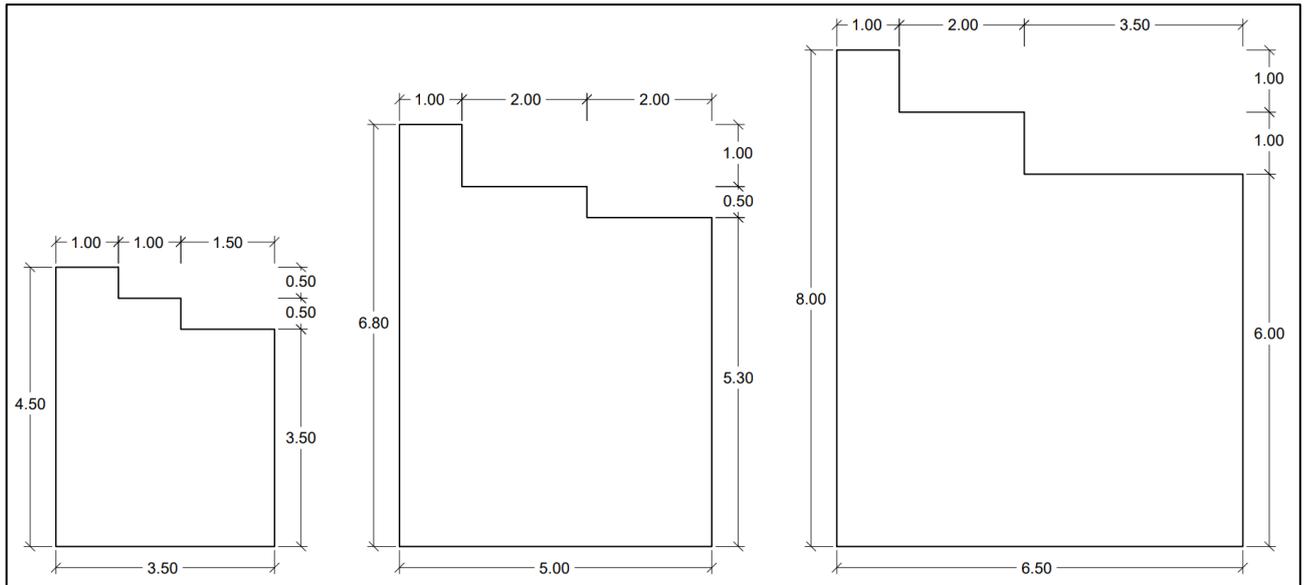


Imagen 4. Dimensiones del espaldón para el contradique de escollera para la 1ª Alineación, 2ª Alineación y 3ª Alineación respectivamente (Fuente: Elaboración propia)

2.1.6. COMPROBACIONES

A continuación, se van a realizar las comprobaciones necesarias para que la estructura sea totalmente segura y cumpla sus funciones correctamente.

Primeramente, se va a calcular el peso del espaldón en cada tramo ya que será necesario para comprobar sus cumplimientos frente a deslizamiento y hundimiento:

1ª Alineación:

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 4.50 + 1.00 * 4.00 + 1.50 * 3.50) = 323.00 \text{ kN/m}$$

2ª Alineación:

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (6.80 * 1.00 + 5.80 * 1.00 + 5.30 * 2.00) = 682.80 \text{ kN/m}$$

3ª Alineación:

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 8.00 + 2.00 * 7.00 + 3.50 * 6.00) = 1013.40 \text{ kN/m}$$

2.1.6.1. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTO

El coeficiente de seguridad frente a deslizamiento no debe ser inferior a 1.20, y se calcula de la siguiente manera:

$$F_d = \frac{\sum F_v}{\sum F_h} * m = \frac{W_E - F_v(F_h)}{F_h} * m$$

El coeficiente de rozamiento (m) adoptará el un valor equivalente a 0.60.

Los valores W_E , F_h y $F_v(F_h)$ están en kN/m.

1ª Alineación:

W_e	$F_v(F_h)$	F_h	F_d
323,04	7,29	155,71	1,22

Tabla 33. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 1ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

2ª Alineación:

W_e	$F_v(F_h)$	F_h	F_d
682,78	15,80	309,76	1,29

Tabla 34. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

3ª Alineación:

W_e	$F_v(F_h)$	F_h	F_d
1012,39	28,20	477,46	1,24

Tabla 35. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

En las tres alineaciones hay estabilidad frente a deslizamiento.

2.1.6.2. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A VUELCO

La ROM 0.5-05 dice que el coeficiente de seguridad frente a vuelco se realizará de la siguiente manera:

$$F_v = \frac{\sum M_{stb}}{\sum M_{dstb}} = \frac{M(W_E) - M(Fv(Fh))}{M(Fh)}$$

En este caso, el coeficiente de seguridad frente a vuelco no debe ser inferior a 1.20.

Los valores $M(W_E)$, $M(Fh)$ y $M(Fv(Fh))$ están en mkN/m.

1ª Alineación:

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (4.50 * 1.00 * 3.00 + 4.00 * 1.00 * 2.00 + 3.50 * 1.50 * 0.75) = 569.80$$

$M(W_E)$	$M(Fv(Fh))$	$M(Fh)$	F_v
596,84	17,00	382,89	1,51

Tabla 36. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 1ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

2ª Alineación:

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (6.80 * 1.00 * 4.50 + 5.80 * 2.00 * 3.00 + 5.30 * 2.00 * 1.00) = 1789.34$$

$M(W_E)$	$M(Fv(Fh))$	$M(Fh)$	F_v
1789,34	52,68	1158,51	1,50

Tabla 37. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

3ª Alineación:

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (8.00 * 1.00 * 6.00 + 7.00 * 2.00 * 4.50 + 6.00 * 3.5 * 1.75) = 3478.63$$

$M(W_E)$	$M(Fv(Fh))$	$M(Fh)$	F_v
3478,63	122,21	2100,83	1,60

Tabla 38. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

Las tres alineaciones son estables frente a vuelco.

2.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA 2: CUBO DE HORMIGÓN

2.2.1. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL

Para la determinación del peso y el espesor del manto se procederá de la misma manera que en el apartado 2.1.1. Debido a que si se utilizaran cubos de hormigón para los 3 tramos habría demasiados encofrados de distintos tamaños, se decide que para el primer tramo se va a utilizar la escollera calculada en la Alternativa 1: Escollera. Los resultados obtenidos para cada tramo son los siguientes:

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	Kd	cotg(α)	γ (t/m ³)	γw (t/m ³)	H (m)	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	4	1,5	2,65	1,025	2,38	1,49	0,83
2a Alineación	Cubo	2	6	1,5	2,35	1,025	3,5	5,18	1,30
3a Alineación	Cubo	2	6	1,5	2,35	1,025	4,6	11,77	1,71

Tabla 39. Peso y espesor del manto principal (Fuente: Elaboración propia).

El espesor del manto principal se calcula con la siguiente fórmula:

$$e = n * D_{n50}$$

Siendo:

- n: número de capas.
- $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma}}$, dónde W el peso de la pieza (t); γ es la densidad de la pieza (t/m³).

En la siguiente tabla se recoge un resumen de los materiales que se colocarán en el manto principal:

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	1,50	0,85
2a Alineación	Cubo	2	5,50	1,30
3a Alineación	Cubo	2	12,00	1,75

Tabla 40. Características de los materiales a colocar en el manto principal (Fuente: Elaboración propia).

2.2.2. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO

Es esencial añadir capas de filtro compuestas por materiales granulares de diferentes tamaños entre el núcleo y el manto principal que protege al contradique. Estas capas de filtro evitan que las piedras más pequeñas del núcleo sean arrastradas hacia el exterior durante condiciones climáticas extremas.

La relación entre el tamaño de las piedras en la capa superior y la capa inferior no debe ser mayor a 2.5 veces, y deben estar en un rango de pesos entre $W/10$ y $W/20$. Esto asegura que las piedras más pequeñas en la capa inferior no puedan pasar a través de los espacios entre las piedras de la capa superior. Además, se utilizará la escollera del contradique actual en la construcción de esta capa, eliminando la necesidad de extraer material de una cantera.

Siendo W el peso del manto principal (calculado en el apartado anterior) y W_{filtro} el peso del elemento del filtro, se obtienen los siguientes resultados:

Tramo	W (t)	$W_{\text{min filtro}}$ (t)	$W_{\text{máx filtro}}$ (t)	W_{filtro} (t)	Nº de Capas	D_n (m)
1a Alineación	1,5	0,075	0,15	0,1	2	0,35
2a Alineación	5,5	0,275	0,55	0,5	2	0,60
3a Alineación	12	0,6	1,2	1	2	0,75

Tabla 41. Peso y espesor del filtro (Fuente: Elaboración propia).

2.2.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE

Para proporcionar un soporte adecuado al manto principal, especialmente cuando se trata de un manto bicapa, se recomienda construir una berma de pie. Esta estructura debe diseñarse para garantizar su estabilidad y asegurar la disposición correcta de la primera fila de elementos en el manto.

El peso de los elementos que componen la berma de pie generalmente oscila entre el 10% y el 20% del peso de las piezas del manto, dependiendo de la profundidad del dique y la profundidad de la berma. La berma de pie tiene una forma trapecial.

Dado que la construcción de la berma de pie representa una parte relativamente pequeña de la estructura y suele tener un costo bajo, se diseña con un margen de seguridad significativamente mayor que el del manto principal.

Además, será necesaria la construcción de una banqueta de protección contra la socavación, ya que el contradique se va a apoyar sobre material sedimentario (arena). Esto se debe a que la superficie de arena está en equilibrio dinámico con las corrientes marinas de la zona (sin contradique) y la construcción del dique altera este equilibrio dinámico, por lo que genera nuevas corrientes que pueden socavar el fondo marino sedimentario.

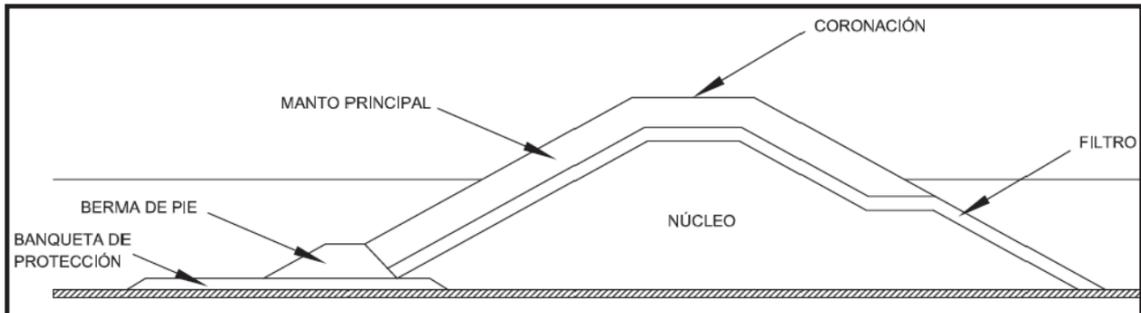


Imagen 5. Sección tipo de un dique con un manto apoyado en una berma de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015).

Para dimensionar la berma de pie se utilizará la fórmula de Van der Meer (1998) propuesta por CIRIA y otros (2007), es decir, la siguiente fórmula:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \left(2 + 6.2 \left(\frac{h_t}{h_s} \right)^{2.7} \right) N_{od}^{0.15}$$

Donde:

- H_s : altura de ola significativa.
- D_{n50} : diámetro nominal de la escollera de la berma de pie en metros. Para obtenerlo es necesario saber el peso de la escollera de la berma, que será el 10% del peso de los elementos que forman el manto.
- $\Delta = \left(\frac{\gamma}{\gamma_s} - 1 \right)$
- h_t : profundidad de la berma de pie.
- h_s : profundidad a pie de dique.
- N_{od} : variable que indica el daño en la berma. Se consideran daños despreciables, por lo que su valor será de 1.

La imagen siguiente muestra la sección de CIRIA para calcular la berma de pie:

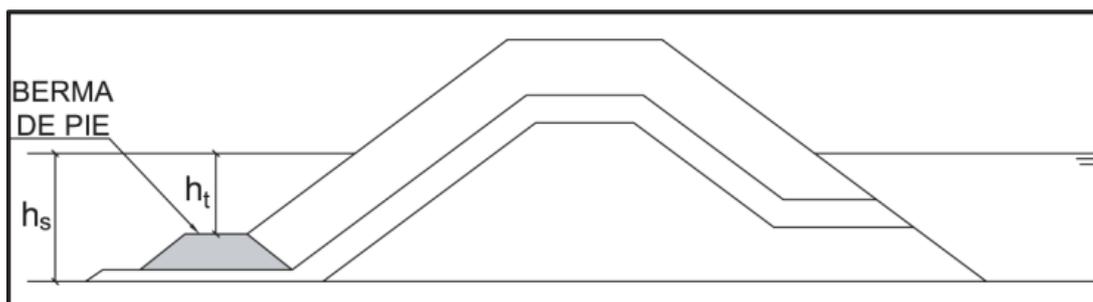


Imagen 6. Sección tipo CIRIA y otros (2007) para diseñar bermas de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015)

La fórmula previa se emplea para determinar la altura de la ola que la berma puede resistir:

Tramo	W (t)	Dn50 (m)	Δ	ht (m)	hs (m)	Nod	Hs (m)
1a Alineación	0,1	0,34	1,59	2,33	3	1	2,73
2a Alineación	0,5	0,57	1,59	3,35	4,5	1	4,37
3a Alineación	1	0,72	1,59	4,05	5,5	1	5,41

Tabla 42. Altura de ola que puede resistir la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).

Al contrastar la altura de ola de cálculo (H) con la capacidad de soporte de la berma de pie (Hs):

Tramo	H (m)	Hs (m)
1a Alineación	2,38	2,73
2a Alineación	3,50	4,01
3a Alineación	4,60	4,82

Tabla 43. Comparación entre la altura de ola de cálculo y la altura de ola que es capaz de soportar la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).

Se comprueba que la berma dimensionada para cada tramo es capaz de soportar la altura de ola de cálculo. Por lo que las dimensiones de la berma para cada tramo resultan:

Tramo	Anchura coronación (m)	Espesor (m)
1a Alineación	1,3	0,7
2a Alineación	2,4	1,2
3a Alineación	3,0	1,5

Tabla 44. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).

2.2.4. DETERMINACIÓN DE LA COTA DE CORONACIÓN

Tal y como dice la “ROM 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las obras de abrigo”, aquellos diques que se encuentran sometidos a oleaje limitado por el fondo, el francobordo de la estructura para evitar rebases se puede aproximar a H_b , que es la altura de cálculo y coincide con la altura de rotura del oleaje.

La cota de coronación del manto no debe ser inferior a $0.75 * H_b$, que corresponde a la cota mínima de la mota de trabajo.

Las cotas obtenidas para cada tramo, considerando la carrera de marea existente, que en el caso del Puerto de Gandía es de 0.86 metros, se muestran a continuación:

Tramo	Cotas de coronación (m)	
	Espaldón	Manto
1a Alineación	2,38	1,79
2a Alineación	3,50	2,63
3a Alineación	4,60	3,45

Tabla 45. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).

La construcción del dique se realizará por medios terrestres, por lo que será necesario aplicar una mota de trabajo. Por lo tanto, la coronación del núcleo deberá estar situada como mínimo 1 metro por encima del PMVE (Pleamar de Marea Viva Equinoccial).

En los mantos de escollera es recomendable que la zona superior tenga un espesor de $2 * D_n$ en coronación.

También, al considerar la cota de coronación, es esencial tener en mente las potenciales repercusiones del cambio climático que podrían impactar en el contradique. Estas implicaciones han sido exhaustivamente analizadas en el "Anejo nº6: Estudio del cambio climático". Con el objetivo de prevenir posibles complicaciones en el futuro, se dará debida atención al aumento proyectado del nivel del mar, como se detalla en dicho anejo, el cual prevé un incremento de 0.7 metros en el nivel del mar.

Por lo que las cotas de coronación mínimas serán las siguientes:

- Cota de coronación manto = espesor manto + espesor filtro + 1 + carrera de marea
- Cota de coronación espaldón = espesor manto + espesor filtro + 1 + carrera de marea

Tramo	Espesor manto (m)	Espesor filtro (m)	Cotas de coronación (m)	
			Espaldón	Manto
1a Alineación	1,70	0,70	4,26	4,26
2a Alineación	2,60	1,20	5,66	5,66
3a Alineación	3,50	1,50	6,86	6,86

Tabla 46. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).

Se han obtenido cotas superiores a las calculadas en la *tabla 45*, por lo que se tomarán las cotas de la *tabla 46*. Finalmente, las cotas de coronación de cada capa y del espaldón del contradique sobre el NMMA teniendo en cuenta la carrera de marea serán las siguientes:

Tramo	Cotas de coronación (m)			
	Núcleo	Filtro	Espaldón	Manto
1a Alineación	1,86	2,56	4,26	4,26
2a Alineación	1,86	3,06	5,66	5,66
3a Alineación	1,86	3,36	6,86	6,86

Tabla 47. Cotas de coronación de cada capa (Fuente: Elaboración propia).

2.2.5. CÁLCULO DEL ESPALDÓN

2.2.5.1. REBASES

Para realizar correctamente el cálculo y diseño del espaldón, se realizará una comprobación del cumplimiento del rebase sobre la cota de coronación calculada para el mismo espaldón.

Para realizar este análisis nos remitiremos a las tablas que hay en el EurOtop 2018 para saber según las tablas cual es la mayor q que puede haber en este contradique y para calcular cual es la q obtenida con este nuevo contradique se utilizará la fórmula de Smolka et al. (2009).

La tabla que se muestra a continuación muestra el valor máximo de la q las distintas situaciones según el puerto. Este contradique se encuentra en la situación segunda, pudiendo valer la q como máximo 1 (l/s/m).

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V _{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H _{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H _{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

Tabla 48. Rebases medios según situación (Fuente: Eurotop 2018).

Por otro lado, la ecuación de Smolka (2009) es la siguiente:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = D_1 \cdot \exp\left(D_2 \cdot Ir_p - D_3 \cdot \frac{A_c}{R_c} - D_4 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f}\right)$$

Siendo:

- g: Aceleración.
- H_{m0}: Altura de ola significativa a pie de dique.
- R_c: Francobordo de la estructura.
- A_c: Francobordo de la berma superior del manto.
- γ_f: Factor de rugosidad: γ_f= 0,5 para cubos bicapa.
- $Ir_p = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{2\pi H_s / (g T_{01}^2)}}$
- D₁ = 0.2
- D₂ = 0.53
- D₃ = 3.27
- D₄ = 2.16

2ª Alineación

g (m/s ²)	Hm0 (m)	D1	D2	D3	D4	lrp	Ac (m)	Rc (m)	γf	q(l/s/m.l)
9,81	3,50	0,20	0,53	3,27	2,16	5,54	4,90	4,90	0,50	4,73

Tabla 49. Cálculo del valor q para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	l_{rp}	Ac (m)	Rc (m)	γ_f	q (l/s/m.l)
9,81	4,60	0,20	0,53	3,27	2,16	4,83	6,10	6,10	0,50	2,65

Tabla 50. Cálculo del valor q para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

Se observa que para los dos tramos el valor q está fuera de los parámetros, por lo que habrá problemas con los rebases. Es por eso por lo que se decide aumentar el francobordo de la estructura (R_c) en ambos tramos con el fin de obtener un rebase medio inferior a 1 (l/s/m).

En las siguientes tablas se observan los parámetros con los nuevos francobordos de las estructuras mínimos para poder cumplir con los requisitos exigidos por el EurOtop 2018 para la situación del nuevo contradique:

2ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	l_{rp}	Ac (m)	Rc aumentado (m)	γ_f	q (l/s/m.l)
9,81	3,50	0,20	0,53	3,27	2,16	5,54	4,90	6,90	0,50	0,91

Tabla 51. Cálculo del valor q para 2ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia).**3ª Alineación**

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	l_{rp}	Ac (m)	Rc aumentado (m)	γ_f	q (l/s/m.l)
9,81	4,60	0,20	0,53	3,27	2,16	4,83	6,10	7,60	0,50	0,95

Tabla 52. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia).**2.2.5.2. FUERZAS SOBRE EL ESPALDÓN**

Para determinar la fuerza horizontal máxima (F_h) y la fuerza vertical (subpresiones) producidas sobre el espaldón del contradique en talud correspondiente a la ola que ha generado la fuerza horizontal máxima ($F_v(F_h)$) se utilizará el método propuesto en el "Cubipod Manual 2016", el cual se basa en las ecuaciones publicadas por Molines (2016). A pesar de que estas acciones están separadas en el tiempo, se considera que se producen en el mismo instante, quedando esta suposición del laso de la seguridad.

A continuación, se muestra un esquema de las fuerzas utilizadas por Molines (2016) para el cálculo de la estabilidad del espaldón:

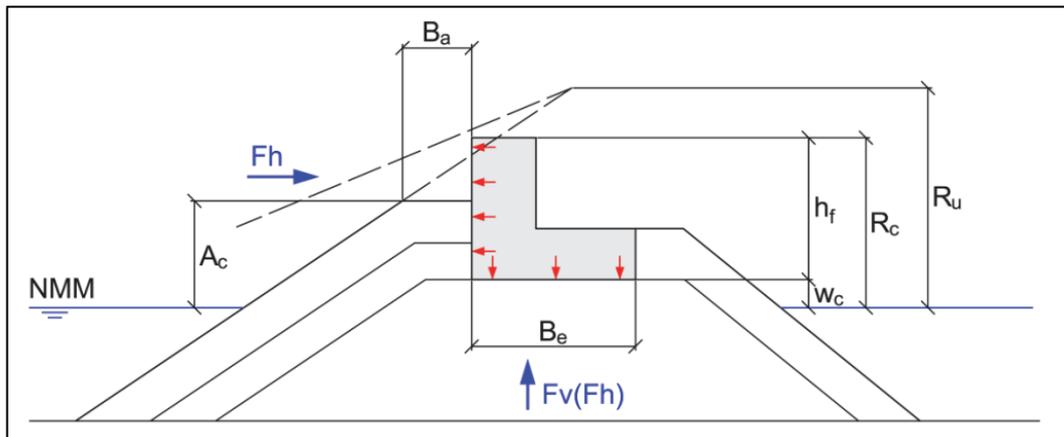


Imagen 7. Fuerzas que actúan sobre el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016).

Para estimar F_h y $F_v(F_h)$, Molines (2016) propone las siguientes fórmulas:

$$\frac{F_h}{0.5\rho_w g h_f^2} = \left(-1.29 + 1.80 \frac{\gamma_f R_u}{R_c} + 0.93 \left(\frac{R_c - A_c}{h_f} \right) + 0.16 \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} \right)^2$$

$$\frac{F_v(F_h)}{0.5\rho_w g h_f B_e} = \left(-0.86 + 0.75 \frac{\gamma_f \times R_u}{R_c} + 0.41 \left(\frac{R_c - A_c}{h_f} \right) + 0.17 \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} - 0.9 \frac{W_c}{h_f} \right)^2$$

$$2.58 H_s > R_u = R_{u0.1\%} = \begin{cases} 1.12 H_s I r_m & I r_m \leq 1.5 \\ 1.34 H_s I r_m^{0.55} & I r_m > 1.5 \end{cases}$$

$$\text{siendo: } I r_m = \tan \alpha / \sqrt{2\pi H_s / (g T_{01}^2)}$$

Siendo:

- R_c : Francobordo de la estructura.
- A_c : Francobordo de la berma superior del manto.
- γ_f : Factor de rugosidad: $\gamma_f = 0,5$ para cubos bicapa.
- H_s : Altura de ola significativa a pie de dique.
- $\tan \alpha$: Pendiente de talud.
- W_c : Cota de cimentación del espaldón.

- B_a : Ancho de la berma superior.
- B_e : Anchura de la base del espaldón.
- h_f : Altura del espaldón.
- F_h : Fuerza horizontal máxima.
- ρ_w : Densidad del agua (Kg/m³ para N/m y dimensiones en metros).
- g : Aceleración-
- L_m : Longitud de onda local
- $T_{01} = T_p / 1,2$

Los rangos de validez de las variables utilizadas en las ecuaciones son las siguientes:

- $0.31 < \gamma_f * (R_u/R_c) < 0.94$
- $0.07 < (R_c - A_c)/h_f < 0.59$
- $0.01 < w_c/h_f < 0.27$
- $3.13 < \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} < 6.54$

A continuación, se calculan las presiones y subpresiones para los dos tramos de cubo de hormigón:

2ª Alineación:

- Primer paso: Se calcula I_{r_m} .

$\tan\alpha$	H_s (m)	T_{01} (s)	g (m/s ²)	I_{r_m}
0,67	3,50	12,44	9,81	5,54

Tabla 53. Cálculo de I_{r_m} (Fuente: Elaboración propia).

- Segundo paso: Se calcula R_u .

H_s (m)	I_{r_m}	R_u (m)
3,50	5,54	12,03

Tabla 54. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).

La condición de este método es que $R_u < 2.58 * H_s = 9.03$ por lo que finalmente $R_u = 9.03$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	hs (m)	Lm (m)
9,81	12,44	6,06	93,39

Tabla 55. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

ρ_w (kg/m ³)	g (m/s ²)	hf (m)	γ_f	Ru (m)	Rc inicial	Rc (m)	Ac (m)	Lm (m)	$Ba = 3 \cdot Dn$ (m)	Be (m)	wc (m)
1,03	9,81	5,00	0,50	9,03	4,90	6,90	4,90	93,39	3,90	4,00	1,16

Tabla 55. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 55* se obtienen los siguientes valores:

Fh (kN/m)	$Fv(Fh)$ (kN/m)
138,01	6,62

Tabla 56. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación:

- Primer paso: Se calcula Ir_m .

$\tan\alpha$	Hs (m)	$T01$ (s)	g (m/s ²)	Ir_m
0,67	4,60	12,44	9,81	4,83

Tabla 57. Cálculo de Ir_m (Fuente: Elaboración propia).

- Segundo paso: Se calcula R_u .

Hs (m)	Ir_m	Ru (m)
4,60	4,83	14,66

Tabla 58. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).

La condición de este método es que $R_u < 2.58 \cdot H_s = 11.87$ por lo que finalmente $R_u = 11.87$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	hs (m)	Lm (m)
9,81	12,44	7,06	100,35

Tabla 59. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

ρ_w (kg/m ³)	g (m/s ²)	hf (m)	γ_f	Ru (m)	$Rc_{inicial}$	Rc (m)	Ac (m)	Lm (m)	$Ba = 3 \cdot Dn$ (m)	Be (m)	wc (m)
1,03	9,81	5,70	0,50	11,87	6,10	7,60	6,10	100,35	5,25	4,50	1,16

Tabla 60. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 60* se obtienen los siguientes valores:

Fh (kN/m)	$Fv(Fh)$ (kN/m)
185,33	10,68

Tabla 61. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

Calculados los elementos anteriores para los tres tramos con el método elegido, el factor de seguridad $S_1 = (W - Fv(Fh)) \cdot m - Fh$ se puede estimar para calcular los factores de seguridad a deslizamiento y vuelco del espaldón.

El momento volcador debido a Fh y $Fv(Fh)$ se puede obtener con las siguientes ecuaciones propuestas por Molines (2016):

$$M(Fh) = 0.55 \cdot h_f \cdot Fh$$

$$M(Fv(Fh)) = 2/3 \cdot B_e \cdot Fh(Fh)$$

Con estas ecuaciones obtenemos los momentos, en mKn/m, para cada uno de los tramos:

Tramo	$M(Fh)$	$M(Fv(Fh))$
2a Alineación	383,12	17,64
3a Alineación	585,63	32,05

Tabla 62. Momento volcador para cada tramo (Fuente: Elaboración propia).

Las dimensiones del espaldón para cada uno de los tramos se muestran a continuación. Las dimensiones B_a , B_e y h_f son las que se han citado anteriormente, mientras que el resto de las

dimensiones han sido estimadas para que se garantice la seguridad a lo largo de todo el contradique.

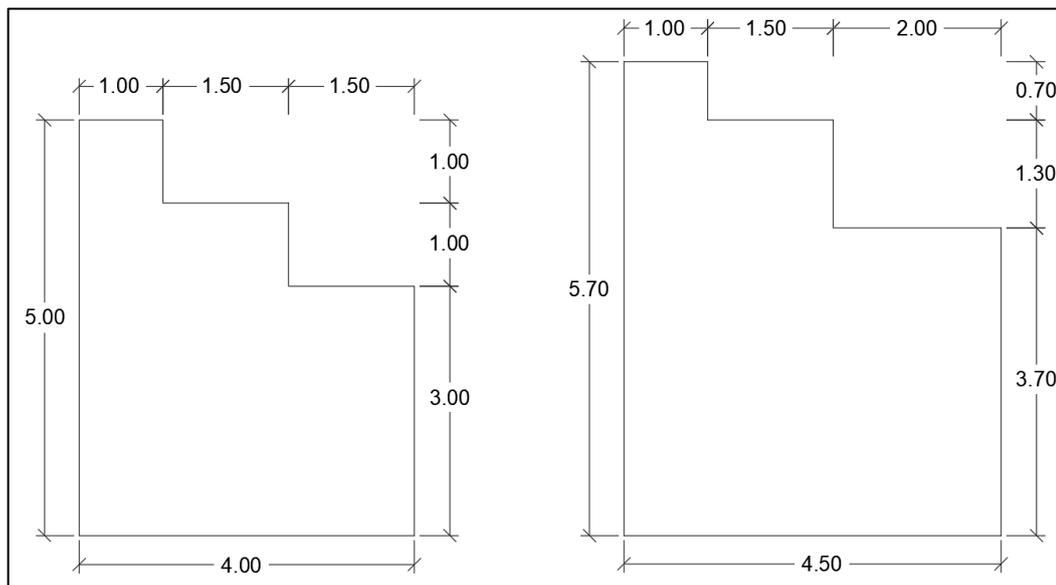


Imagen 8. Dimensiones del espaldón del contradique de cubos de hormigón para la 2ª Alineación y 3ª Alineación respectivamente (Fuente: Elaboración propia).

2.2.6. COMPROBACIONES

A continuación, se van a realizar las comprobaciones necesarias para que la estructura sea totalmente segura y cumpla sus funciones correctamente.

Primeramente, se va a calcular el peso del espaldón en cada tramo ya que será necesario para comprobar sus cumplimientos frente a deslizamiento y hundimiento:

2ª Alineación:

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.00 + 1.50 * 4.00 + 1.50 * 3.00) = 366.00 \text{ kN/m}$$

3ª Alineación:

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.70 + 1.50 * 5.00 + 2.00 * 3.70) = 486.10 \text{ kN/m}$$

2.2.6.1. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTO

El coeficiente de seguridad frente a deslizamiento no debe ser inferior a 1.20, y se calcula de la siguiente manera:

$$F_d = \frac{\sum F_v}{\sum F_h} * m = \frac{W_E - Fv(Fh)}{Fh} * m$$

El coeficiente de rozamiento (m) adoptará el un valor equivalente a 0.60.

Los valores W_E , Fh y $Fv(Fh)$ están en kN/m.

2ª Alineación:

W_e	$Fv(Fh)$	Fh	Fd
366,04	6,62	138,01	1,56

Tabla 63. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación:

W_e	$Fv(Fh)$	Fh	Fd
486,07	10,68	185,33	1,54

Tabla 64. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

En las dos alineaciones hay estabilidad frente a deslizamiento.

2.2.6.2. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A VUELCO

La ROM 0.5-05 dice que el coeficiente de seguridad frente a vuelco se realizará de la siguiente manera:

$$F_v = \frac{\sum M_{stb}}{\sum M_{dstb}} = \frac{M(W_E) - M(Fv(Fh))}{M(Fh)}$$

En este caso, el coeficiente de seguridad frente a vuelco no debe ser inferior a 1.20.

Los valores $M(W_E)$, $M(Fh)$ y $M(Fv(Fh))$ están en mkN/m.

2ª Alineación:

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.00 * 3.50 + 1.50 * 4.00 * 2.25 + 1.50 * 3.00 * 0.75) = 813.20$$

$M(W_e)$	$M(F_v(F_h))$	$M(F_h)$	F_v
813,21	17,64	383,12	2,08

Tabla 65. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación:

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.70 * 4.00 + 1.50 * 5.00 * 2.75 + 2.00 * 3.70 * 1.00) = 1200.89$$

$M(W_e)$	$M(F_v(F_h))$	$M(F_h)$	F_v
1200,89	32,05	585,63	2,00

Tabla 66. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

Las tres alineaciones son estables frente a vuelco.

2.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA 3: CUBÍPODO.

2.3.1. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL

Para la determinación del peso y el espesor del manto se procederá de la misma manera que en el apartado 2.1.1. Debido a que si se utilizaran cubípodos también para la 1ª alineación habría demasiados encofrados de distintos tamaños, se decide que para ese tramo se va a utilizar la escollera calculada en la Alternativa 1: Escollera. Los resultados obtenidos para cada tramo son los siguientes:

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	Kd	cotg(α)	γ (t/m3)	γw (t/m3)	H (m)	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	4	1,5	2,65	1,025	2,38	1,49	0,83
2a Alineación	Cubípedo	1	12	1,5	2,35	1,025	3,5	2,59	1,03
3a Alineación	Cubípedo	1	12	1,5	2,35	1,025	4,6	5,88	1,36

Tabla 67. Peso y espesor del manto principal (Fuente: Elaboración propia)

El espesor del manto principal se calcula con la siguiente fórmula:

$$e = n * D_{n50}$$

Siendo:

- n: número de capas.
- $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma}}$, dónde W el peso de la pieza (t); γ es la densidad de la pieza (t/m3).

En la siguiente tabla se recoge un resumen de los materiales que se colocarán en el manto principal:

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	1,50	0,85
2a Alineación	Cubípedo	1	3,00	1,10
3a Alineación	Cubípedo	1	6,00	1,40

Tabla 68. Características de los materiales a colocar en el manto principal (Fuente: Elaboración propia).

2.3.2. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO

Entre el núcleo y el manto principal del contradique, es crucial incluir una o más capas de filtro hechas de materiales granulares de tamaños gradualmente mayores. Estas capas de filtro tienen la función de evitar que las piedras más pequeñas del núcleo sean arrastradas hacia el exterior por las corrientes internas del contradique durante condiciones climáticas extremas.

Para diseñar las capas intermedias del contradique en talud, se sigue un criterio basado en la relación entre el tamaño de las piedras en la capa superior y el tamaño de las piedras en la capa inferior. Esta relación no debe exceder 2.5 veces, y los pesos de las piedras deben estar entre $W/10$ y $W/20$. Cumplir con este criterio de filtro asegura que las piedras más pequeñas en la capa inferior no puedan atravesar los espacios entre las piedras de la capa superior.

Para construir esta capa de filtro, se utilizará la escollera existente en el contradique actual, eliminando así la necesidad de obtener escollera de una cantera.

Siendo W el peso del manto principal (calculado previamente) y W_{filtro} el peso de los elementos del filtro, se obtienen los siguientes resultados:

Tramo	W (t)	$W_{\text{min filtro}}$ (t)	$W_{\text{máx filtro}}$ (t)	W_{filtro} (t)	Nº de Capas	D_n (m)
1a Alineación	1,5	0,075	0,15	0,1	2	0,35
2a Alineación	3	0,15	0,3	0,3	2	0,50
3a Alineación	6	0,3	0,6	0,5	2	0,60

Tabla 69. Peso y espesor del filtro (Fuente: Elaboración propia).

2.3.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE

La construcción de una berma de pie es esencial para proporcionar un soporte adecuado al manto principal monocapa. Esta estructura debe diseñarse para garantizar su estabilidad, asegurando así la correcta colocación de la primera fila de elementos del manto.

Generalmente, el peso de los elementos que forman la berma de pie varía entre el 10% y el 20% del peso de las piezas del manto. Esta variación depende de factores como la profundidad del dique y la profundidad de la propia berma. La geometría de esta berma de pie suele ser trapezoidal.

Dado que la berma de pie constituye una parte relativamente pequeña de la estructura total y generalmente tiene un costo reducido, es común diseñarla con un margen de seguridad significativamente mayor que el del manto principal.

Además, es necesario construir una banqueteta de protección contra la socavación, ya que el contradique se asentará sobre material sedimentario (arena). Esta medida es crucial porque la superficie arenosa está en equilibrio dinámico con las corrientes marinas locales en condiciones naturales (sin contradique). La construcción del dique altera este equilibrio, generando nuevas corrientes que podrían erosionar el fondo marino sedimentario. La banqueteta de protección ayuda a prevenir este fenómeno y a mantener la integridad estructural del contradique a largo plazo.

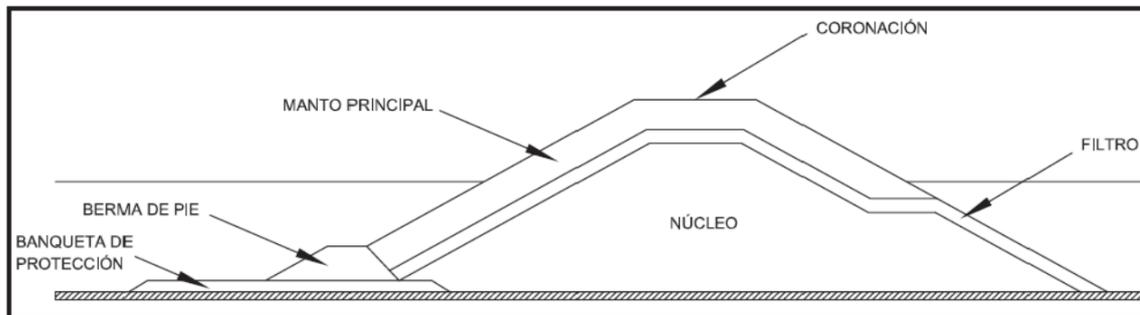


Imagen 9. Sección tipo de de un dique con un manto apoyado en una berma de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015).

Para dimensionar la berma de pie se utilizará la fórmula de Van der Meer (1998) propuesta por CIRIA y otros (2007), es decir, la siguiente fórmula:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \left(2 + 6.2 \left(\frac{h_t}{h_s} \right)^{2.7} \right) N_{od}^{0.15}$$

Donde:

- H_s : altura de ola significante.
- D_{n50} : diámetro nominal de la escollera de la berma de pie en metros. Para obtenerlo es necesario saber el peso de la escollera de la berma, que será el 10% del peso de los elementos que forman el manto.
- $\Delta = \left(\frac{\gamma}{\gamma_s} - 1 \right)$
- h_t : profundidad de la berma de pie.

- h_s : profundidad a pie de dique.
- N_{od} : variable que indica el daño en la berma. Se consideran daños despreciables, por lo que su valor será de 1.

La imagen siguiente muestra la sección de CIRIA para calcular la berma de pie:

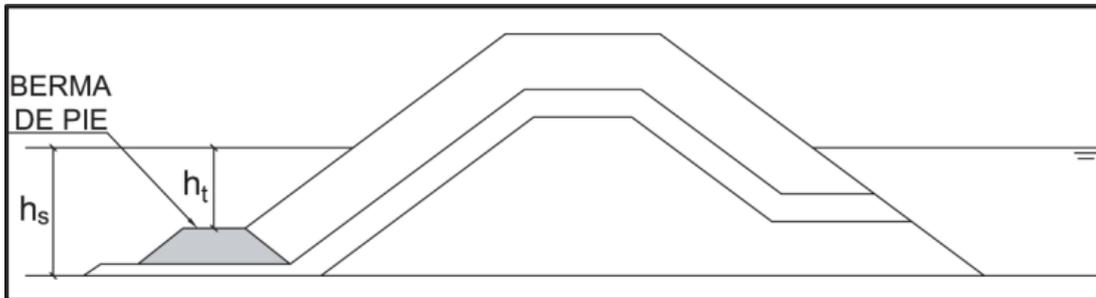


Imagen 10. Sección tipo CIRIA y otros (2007) para diseñar bermas de pie (Fuente: Manual del cubipodo 2015)

La fórmula previa se emplea para determinar la altura de la ola que la berma puede resistir:

Tramo	W (t)	$Dn50$ (m)	Δ	h_t (m)	h_s (m)	N_{od}	H_s (m)	
1a Alineación	0,1	0,34		1,59	2,33	3	1	2,73
2a Alineación	0,3	0,48		1,59	3,53	4,5	1	4,01
3a Alineación	0,5	0,57		1,59	4,35	5,5	1	4,82

Tabla 70. Altura de ola que puede resistir la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).

Al contrastar la altura de ola de cálculo (H) con la capacidad de soporte de la berma de pie (H_s):

Tramo	H (m)	H_s (m)
1a Alineación	2,38	2,73
2a Alineación	3,50	4,01
3a Alineación	4,60	4,82

Tabla 71. Comparación entre la altura de ola de cálculo y la altura de ola que es capaz de soportar la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).

Se comprueba que la berma dimensionada para cada tramo es capaz de soportar la altura de ola de cálculo. Por lo que las dimensiones de la berma para cada tramo resultan:

Tramo	Anchura coronación (m)	Espesor (m)
1a Alineación	1,3	0,7
2a Alineación	1,9	1,0
3a Alineación	2,3	1,1

Tabla 72. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie (Fuente: Elaboración propia).

2.3.4. DETERMINACIÓN DE LA COTA DE CORONACIÓN

De acuerdo con la "ROM 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las obras de abrigo", para diques expuestos a oleaje limitado por el fondo, el francobordo necesario para evitar rebases puede aproximarse a H_b que es la altura de cálculo y coincide con la altura de rotura del oleaje.

La cota de coronación del manto no debe ser inferior a $0.75 * H_b$, lo cual representa la cota mínima de la mota de trabajo.

Las cotas obtenidas para cada tramo, teniendo en cuenta la carrera de marea existente, que en el caso del Puerto de Gandía es de 0.86 metros, se presentan a continuación:

Tramo	Cotas de coronación (m)	
	Espaldón	Manto
1a Alineación	2,38	1,79
2a Alineación	3,50	2,63
3a Alineación	4,60	3,45

Tabla 73. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).

El contradique se construirá empleando métodos terrestres, lo que hace necesario el uso de una mota de trabajo. Por esta razón, es fundamental que la parte superior del núcleo esté ubicada como mínimo a 1 metro sobre el nivel de Pleamar de Marea Viva Equinoccial (PMVE).

Para los mantos de escollera, se sugiere que la parte superior tenga un grosor igual a dos veces el diámetro nominal ($2 * D_n$) en la coronación.

Al establecer la altura de coronación, es vital tener en cuenta los posibles impactos del cambio climático en el contradique, que se han estudiado a fondo en el "Anejo nº6: Estudio del cambio climático". Para prever y abordar posibles desafíos futuros, se ha considerado un aumento proyectado del nivel del mar de 0.7 metros, según lo indicado en dicho anejo.

Para evitar futuros desbordamientos, se ha optado por incluir este posible aumento del nivel del mar en el diseño, elevando así la altura de coronación del espaldón. Esta estrategia preventiva tiene como objetivo asegurar que la estructura sea eficaz y duradera a largo plazo, incluso ante las cambiantes condiciones climáticas.

Por lo que las cotas de coronación mínimas serán las siguientes:

- Cota de coronación manto = espesor manto + espesor filtro + 1 + carrera de marea
- Cota de coronación espaldón = espesor manto + espesor filtro + 1 + carrera de marea

Tramo	Espesor manto (m)	Espesor filtro (m)	Cotas de coronación (m)	
			Espaldón	Manto
1a Alineación	1,70	0,70	4,26	4,26
2a Alineación	2,20	1,00	5,06	5,06
3a Alineación	2,80	1,20	5,86	5,86

Tabla 74. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).

Se han obtenido cotas superiores a las calculadas en la *tabla 73*, por lo que se tomarán las cotas de la *tabla 74*. Finalmente, las cotas de coronación de cada capa y del espaldón del contradique sobre el NMMA teniendo en cuenta la carrera de marea serán las siguientes:

Tramo	Cotas de coronación (m)			
	Núcleo	Filtro	Espaldón	Manto
1a Alineación	1,86	2,56	4,26	4,26
2a Alineación	1,86	2,86	5,06	5,06
3a Alineación	1,86	3,06	5,86	5,86

Tabla 75. Cotas de coronación de cada capa (Fuente: Elaboración propia).

2.3.5. CÁLCULO DEL ESPALDÓN

2.3.5.1. REBASES

La verificación del diseño del espaldón implica comprobar si el rebase se ajusta a los parámetros establecidos para la altura de coronación previamente determinada.

Este estudio se fundamentará en las pautas del EurOtop 2018, empleando sus tablas para establecer el máximo caudal de rebase admisible para este contradique en particular. La

cuantificación del caudal de rebase efectivo con la nueva configuración se realizará mediante la fórmula desarrollada por Smolka et al. (2009).

La tabla de referencia proporciona los valores límite de caudal de rebase (q) para diversos contextos portuarios. En el caso que nos ocupa, el contradique se encuadra en la segunda categoría, con un tope máximo de caudal de rebase fijado en 1 litro por segundo por metro lineal (1 l/s/m).

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V _{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H _{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H _{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

Tabla 76. Rebases medios según situación (Fuente: Eurotop 2018).

Por otro lado, la ecuación de Smolka (2009) es la siguiente:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = D_1 \cdot \exp\left(D_2 \cdot Ir_p - D_3 \cdot \frac{A_c}{R_c} - D_4 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f}\right)$$

Siendo:

- g: Aceleración.
- H_{m0}: Altura de ola significativa a pie de dique.
- R_c: Francobordo de la estructura.
- A_c: Francobordo de la berma superior del manto.
- γ_f: Factor de rugosidad: γ_f = 0,46 para cubípodos monocapa.
- $Ir_p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{2\pi H_s / (g T_{01}^2)}}$
- D₁ = 0.2
- D₂ = 0.53

- $D_3 = 3.27$
- $D_4 = 2.16$

2ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	I_{rp}	Ac (m)	Rc (m)	γf	q (l/s/m.l)
9,81	3,50	0,20	0,53	3,27	2,16	5,54	4,36	4,36	0,46	5,87

Tabla 77. Cálculo del valor q para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	I_{rp}	Ac (m)	Rc (m)	γf	q (l/s/m.l)
9,81	3,88	0,20	0,53	3,27	2,16	4,83	5,16	5,16	0,46	4,61

Tabla 78. Cálculo del valor q para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

Se ha detectado que el valor q excede los límites establecidos en ambos segmentos, lo que indica posibles problemas de desbordamiento. Como solución, se ha optado por incrementar la altura del francobordo (R_c) en las dos secciones, con el objetivo de reducir el caudal medio de rebase a menos de 1 litro por segundo por metro lineal (l/s/m).

Las tablas subsiguientes muestran los parámetros actualizados, incluyendo las nuevas alturas mínimas de francobordo necesarias para las estructuras. Estos ajustes se han realizado para cumplir con las especificaciones del manual EurOtop 2018, aplicables a la configuración del nuevo contradique.

2ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	I_{rp}	Ac (m)	Rc aumentado (m)	γf	q (l/s/m.l)
9,81	3,50	0,20	0,53	3,27	2,16	5,54	4,36	6,46	0,46	0,88

Tabla 79. Cálculo del valor q para 2ª Alineación con R_c aumentado (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	D1	D2	D3	D4	I_{rp}	Ac (m)	Rc aumentado	γf	q (l/s/m.l)
9,81	4,60	0,20	0,53	3,27	2,16	4,83	5,16	7,26	0,46	0,94

Tabla 80. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con R_c aumentado (Fuente: Elaboración propia).

2.3.5.2. FUERZAS SOBRE EL ESPALDÓN

Para determinar la fuerza horizontal máxima (F_h) y la fuerza vertical (debido a subpresiones) que actúan sobre el espaldón del contradique en talud a causa de la ola que genera la fuerza horizontal máxima ($F_v(F_h)$), se utilizará el método especificado en el "Cubipod Manual 2016". Este enfoque se fundamenta en las ecuaciones desarrolladas por Molines (2016). Aunque en la práctica estas fuerzas no ocurren simultáneamente, se asume que actúan al mismo tiempo para asegurar un margen de seguridad adicional.

A continuación, se muestra un esquema de las fuerzas consideradas por Molines (2016) en su análisis de la estabilidad del espaldón.

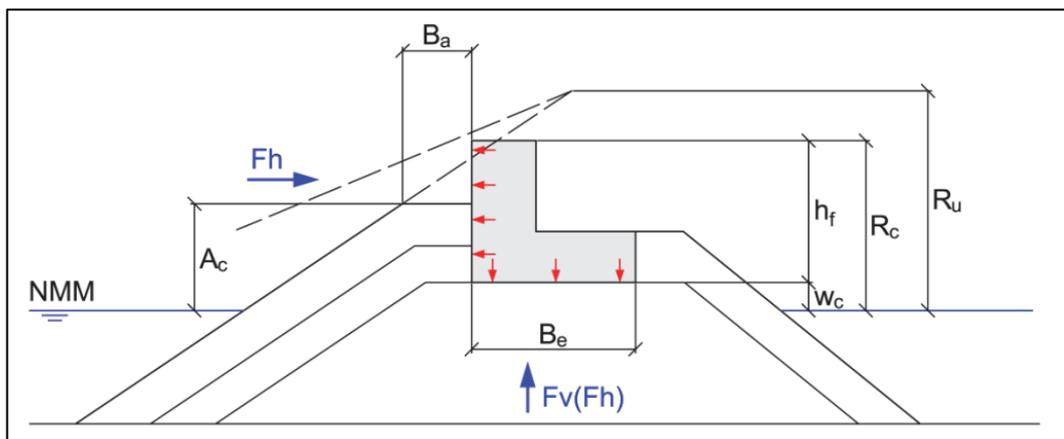


Imagen 11. Fuerzas que actúan sobre el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016).

Para estimar F_h y $F_v(F_h)$, Molines (2016) propone las siguientes fórmulas:

$$\frac{F_h}{0.5\rho_w g h_f^2} = \left(-1.29 + 1.80 \frac{\gamma_f R_u}{R_c} + 0.93 \left(\frac{R_c - A_c}{h_f} \right) + 0.16 \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} \right)^2$$

$$\frac{F_v(F_h)}{0.5\rho_w g h_f B_e} = \left(-0.86 + 0.75 \frac{\gamma_f \times R_u}{R_c} + 0.41 \left(\frac{R_c - A_c}{h_f} \right) + 0.17 \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} - 0.9 \frac{W_c}{h_f} \right)^2$$

$$2.58 H_s > R_u = R_{u0.1\%} = \begin{cases} 1.12 H_s I r_m & I r_m \leq 1.5 \\ 1.34 H_s I r_m^{0.55} & I r_m > 1.5 \end{cases}$$

$$\text{siendo: } I r_m = \tan \alpha / \sqrt{2\pi H_s / (g T_{01}^2)}$$

Siendo:

- R_c : Francobordo de la estructura.
- A_c : Francobordo de la berma superior del manto.
- γ_f : Factor de rugosidad: $\gamma_f = 0,46$ para cubípodos monocapa.
- H_s : Altura de ola significativa a pie de dique.
- $\tan\alpha$: Pendiente de talud.
- W_c : Cota de cimentación del espaldón.
- B_a : Ancho de la berma superior.
- B_e : Anchura de la base del espaldón.
- h_f : Altura del espaldón.
- F_h : Fuerza horizontal máxima.
- ρ_w : Densidad del agua (Kg/m³ para N/m y dimensiones en metros).
- g : Aceleración-
- L_m : Longitud de onda local
- $T_{01} = T_p / 1,2$

Los rangos de validez de las variables utilizadas en las ecuaciones son las siguientes:

- $0.31 < \gamma_f * (R_u/R_c) < 0.94$
- $0.07 < (R_c - A_c)/h_f < 0.59$
- $0.01 < w_c/h_f < 0.27$
- $3.13 < \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} < 6.54$

A continuación, se calculan las presiones y subpresiones para los dos tramos de cubo de hormigón:

2ª Alineación:

- Primer paso: Se calcula I_{r_m} .

$\tan\alpha$	H_s (m)	T_{01} (s)	g (m/s ²)	I_{r_m}
0,67	3,50	12,44	9,81	5,54

Tabla 81. Cálculo de I_{r_m} (Fuente: Elaboración propia).

- Segundo paso: Se calcula R_u .

H_s (m)	l_{rm}	R_u (m)
3,50	5,54	12,03

Tabla 82. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).

La condición de este método es que $R_u < 2.58 * H_s = 9.03$ por lo que finalmente $R_u = 9.03$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	h_s (m)	L_m (m)
9,81	12,44	6,06	93,39

Tabla 83. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

p_w (kg/m ³)	g (m/s ²)	h_f (m)	y_f	R_u (m)	$R_{c1nicial}$	R_c (m)	A_c (m)	L_m (m)	$Ba = 3 * D_n$ (m)	Be (m)	w_c (m)
1,03	9,81	4,60	0,46	9,03	4,36	6,46	4,36	93,39	3,30	4,00	1,16

Tabla 84. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 84* se obtienen los siguientes valores:

F_h (kN/m)	$F_v(F_h)$ (kN/m)
139,02	8,31

Tabla 85. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación:

- Primer paso: Se calcula I_{r_m} .

$\tan\alpha$	H_s (m)	$T01$ (s)	g (m/s ²)	l_{rm}
0,67	4,60	12,44	9,81	4,83

Tabla 86. Cálculo de I_{r_m} (Fuente: Elaboración propia).

- Segundo paso: Se calcula R_u .

H_s (m)	l_{rm}	R_u (m)
4,60	4,83	14,66

Tabla 87. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).

La condición de este método es que $R_u < 2.58 * H_s = 11.87$ por lo que finalmente $R_u = 11.87$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	h_s (m)	L_m (m)
9,81	12,44	7,06	100,35

Tabla 88. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

p_w (kg/m ³)	g (m/s ²)	h_f (m)	γ_f	R_u (m)	$R_{c\text{lnicial}}$	R_c (m)	A_c (m)	L_m (m)	$B_a = 3 * D_n$ (m)	B_e (m)	w_c (m)
1,03	9,81	5,40	0,46	11,87	5,16	7,26	5,16	100,35	4,20	5,00	1,16

Tabla 89. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 89* se obtienen los siguientes valores:

F_h (kN/m)	$F_v(F_h)$ (kN/m)
213,69	15,84

Tabla 90. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

Calculados los elementos anteriores para los tres tramos con el método elegido, el factor de seguridad $S_1 = (W - F_v(F_h)) * m - F_h$ se puede estimar para calcular los factores de seguridad a deslizamiento y vuelco del espaldón.

El momento volcador debido a F_h y $F_v(F_h)$ se puede obtener con las siguientes ecuaciones propuestas por Molines (2016):

$$M(F_h) = 0.55 * h_f * F_h$$

$$M(F_v(F_h)) = 2/3 * B_e * F_h(F_h)$$

Con estas ecuaciones obtenemos los momentos, en mKn/m, para cada uno de los tramos:

Tramo	$M(Fh)$	$M(Fv(Fh))$
2a Alineación	351,72	22,15
3a Alineación	634,65	52,80

Tabla 91. Momento volcador para cada tramo (Fuente: Elaboración propia).

Las dimensiones del espaldón para cada uno de los tramos se muestran a continuación. Las dimensiones B_a , B_e y h_f son las que se han citado anteriormente, mientras que el resto de las dimensiones han sido estimadas para que se garantice la seguridad a lo largo de todo el contradique.

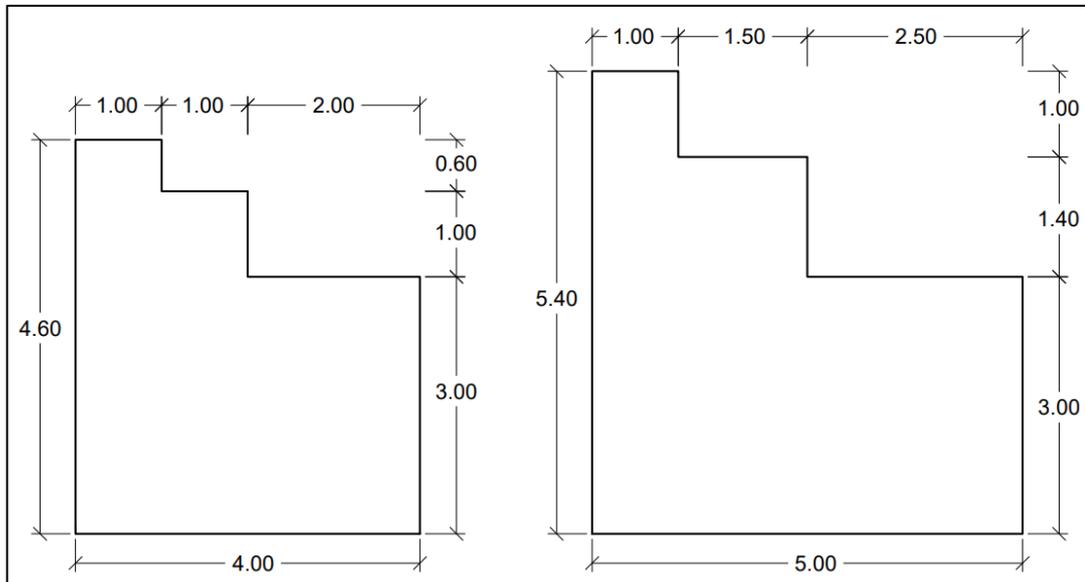


Imagen 12. Dimensiones del espaldón del contradique de cubípodos para la 2ª Alineación y 3ª Alineación respectivamente (Fuente: Elaboración propia).

2.3.6. COMPROBACIONES

A continuación, se llevarán a cabo las verificaciones necesarias para asegurar que la estructura sea completamente segura y funcione correctamente. En primer lugar, se calculará el peso del espaldón en cada tramo, ya que este dato es esencial para evaluar su resistencia al deslizamiento y al hundimiento.

2ª Alineación:

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 4.60 + 1.00 * 4.00 + 2.00 * 3.00) = 343.74 \text{ kN/m}$$

3ª Alineación:

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.40 + 1.50 * 4.40 + 2.50 * 3.00) = 459.11 \text{ kN/m}$$

2.3.6.1. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTO

El coeficiente de seguridad frente a deslizamiento no debe ser inferior a 1.20, y se calcula de la siguiente manera:

$$F_d = \frac{\sum F_v}{\sum F_h} * m = \frac{W_E - F_v(F_h)}{F_h} * m$$

El coeficiente de rozamiento (m) adoptará el un valor equivalente a 0.60.

Los valores W_E , F_h y $F_v(F_h)$ están en kN/m.

2ª Alineación:

W_e	$F_v(F_h)$	F_h	F_d
343,74	8,31	139,02	1,45

Tabla 92. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación:

W_e	$F_v(F_h)$	F_h	F_d
459,11	15,84	213,69	1,24

Tabla 93. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

En las dos alineaciones hay estabilidad frente a deslizamiento.

2.3.6.2. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A VUELCO

La ROM 0.5-05 dice que el coeficiente de seguridad frente a vuelco se realizará de la siguiente manera:

$$F_v = \frac{\sum M_{stb}}{\sum M_{dstb}} = \frac{M(W_E) - M(Fv(Fh))}{M(Fh)}$$

En este caso, el coeficiente de seguridad frente a vuelco no debe ser inferior a 1.20.

Los valores $M(W_E)$, $M(Fh)$ y $M(Fv(Fh))$ están en mkN/m.

2ª Alineación:

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 4.60 * 3.50 + 1.00 * 4.00 * 2.50 + 2.00 * 3.00 * 1.00) = 755.76$$

$M(W_E)$	$M(Fv(Fh))$	$M(Fh)$	F_v
755,76	22,15	351,72	2,09

Tabla 94. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación:

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.40 * 4.50 + 1.50 * 4.40 * 3.25 + 2.50 * 3.00 * 1.25) = 1297.86$$

$M(W_E)$	$M(Fv(Fh))$	$M(Fh)$	F_v
1297,86	52,80	634,65	1,96

Tabla 95. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

Las tres alineaciones son estables frente a vuelco.

2.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA 4: CORE-LOC.

2.4.1. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL

Para la determinación del peso y el espesor del manto se procederá de la misma manera que en el apartado 2.1.1. Debido a que si se utilizaran core-loc de hormigón para los 3 tramos habría demasiados encofrados de distintos tamaños, se decide que para el primer tramo se va a utilizar la escollera calculada en la Alternativa 1: Escollera. Los resultados obtenidos para cada tramo son los siguientes:

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	Kd	cotg(α)	γ (t/m3)	γw (t/m3)	H (m)	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	4	1,5	2,65	1,025	2,38	1,49	0,83
2a Alineación	Core-Loc	1	16	1,33	2,35	1,025	3,5	2,19	0,98
3a Alineación	Core-Loc	1	16	1,33	2,35	1,025	4,6	4,98	1,28

Tabla 96. Peso y espesor del manto principal (Fuente: Elaboración propia).

El espesor del manto principal se calcula con la siguiente fórmula:

$$e = n * D_{n50}$$

Siendo:

- n: número de capas.
- $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W}{\gamma}}$, dónde W el peso de la pieza (t); γ es la densidad de la pieza (t/m3).

En la siguiente tabla se recoge un resumen de los materiales que se colocarán en el manto principal:

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	1,50	0,85
2a Alineación	Core-Loc	1	2,35	1,00
3a Alineación	Core-Loc	1	5,64	1,34

Tabla 97. Características de los materiales a colocar en el manto principal (Fuente: Elaboración propia).

2.4.2. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO

Es crucial incorporar una o más capas de filtro entre el núcleo y el manto principal del contradique. Estas capas, compuestas por materiales granulares de tamaño creciente, tienen

como objetivo evitar que las piedras más pequeñas del núcleo sean arrastradas hacia el exterior por las corrientes que se generan dentro del contradique durante eventos climáticos severos.

El diseño de las capas intermedias del contradique en talud se basa en la relación entre el tamaño de los elementos de la capa superior y los de la capa inferior. Esta relación no debe exceder 2.5 veces, y los pesos de los elementos se sitúan típicamente entre $W/10$ y $W/20$, donde W es el peso de los elementos del manto principal. Este criterio de filtro garantiza que las piedras más pequeñas de la capa inferior no puedan atravesar los huecos entre los elementos de la capa superior.

Para la construcción de esta capa de filtro, se aprovechará la escollera existente en el contradique actual, eliminando así la necesidad de obtener nueva escollera de cantera.

Aplicando estos criterios, donde W representa el peso del manto principal (calculado previamente) y W_{filtro} el peso de los elementos del filtro, se obtienen los siguientes resultados:

Tramo	W (t)	$W_{\text{min filtro}}$ (t)	$W_{\text{máx filtro}}$ (t)	W_{filtro} (t)	Nº de Capas	D_n (m)
1a Alineación	1,5	0,075	0,15	0,1	2	0,35
2a Alineación	2,35	0,1175	0,235	0,2	2	0,45
3a Alineación	5,64	0,282	0,564	0,5	2	0,60

Tabla 98. Peso y espesor del filtro (Fuente: Elaboración propia).

2.4.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE

La construcción de una berma de pie es fundamental para proporcionar un soporte adecuado al manto principal monocapa. Esta estructura debe diseñarse con el objetivo de garantizar su estabilidad, asegurando así la correcta colocación de la primera fila de elementos del manto.

Típicamente, el peso de los elementos que conforman la berma de pie oscila entre el 10% y el 20% del peso de las piezas del manto. Esta variación depende de factores como la profundidad del dique y la profundidad de la propia berma. La geometría de esta berma de pie suele ser trapezoidal.

Dado que la berma de pie representa una porción relativamente pequeña de la estructura total y generalmente implica un costo reducido, es común diseñarla con un margen de seguridad significativamente mayor al del manto principal.

Adicionalmente, es necesario construir una banqueteta de protección contra la socavación, ya que el contradique se asentará sobre material sedimentario (arena). Esta medida es crucial porque

la superficie arenosa se encuentra en un equilibrio dinámico con las corrientes marinas locales en condiciones naturales (sin contradique). La introducción del dique altera este equilibrio, generando nuevas corrientes que podrían erosionar el fondo marino sedimentario. La banqueta de protección ayuda a prevenir este fenómeno y a mantener la integridad estructural del contradique a largo plazo.

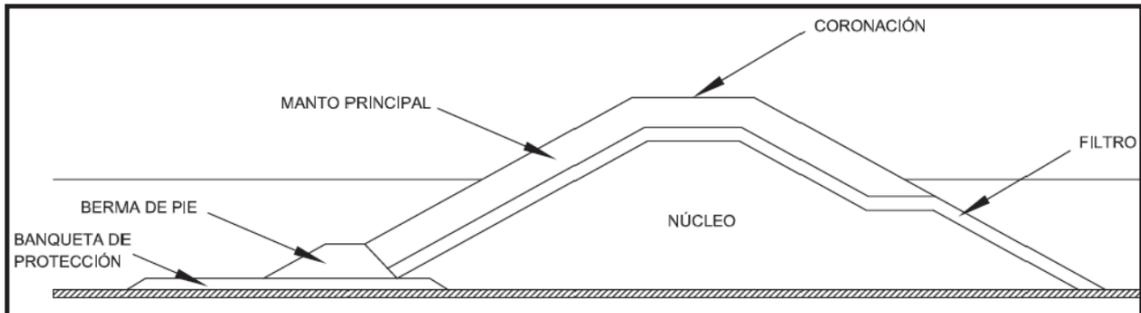


Imagen 13. Sección tipo de de un dique con un manto apoyado en una berma de pie (Fuente: Manual del cubípedo 2015).

Para dimensionar la berma de pie se utilizará la fórmula de Van der Meer (1998) propuesta por CIRIA y otros (2007), es decir, la siguiente fórmula:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \left(2 + 6.2 \left(\frac{h_t}{h_s} \right)^{2.7} \right) N_{od}^{0.15}$$

Donde:

- H_s : altura de ola significativa.
- D_{n50} : diámetro nominal de la escollera de la berma de pie en metros. Para obtenerlo es necesario saber el peso de la escollera de la berma, que será el 10% del peso de los elementos que forman el manto.
- $\Delta = \left(\frac{\gamma}{\gamma_s} - 1 \right)$
- h_t : profundidad de la berma de pie.
- h_s : profundidad a pie de dique.
- N_{od} : variable que indica el daño en la berma. Se consideran daños despreciables, por lo que su valor será de 1.

La imagen siguiente muestra la sección de CIRIA para calcular la berma de pie:

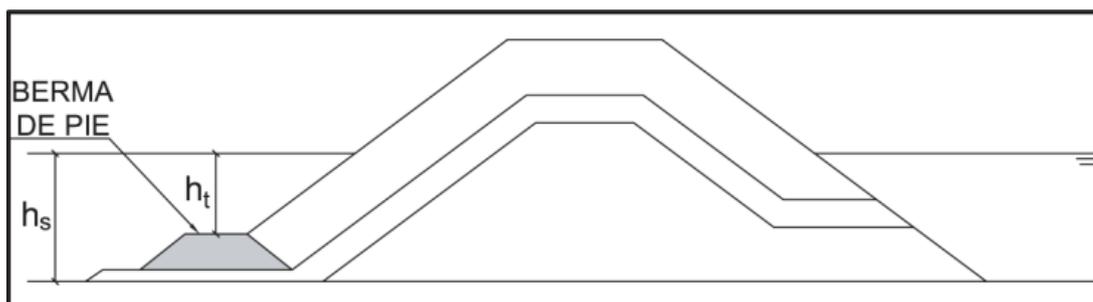


Imagen 14. Sección tipo CIRIA y otros (2007) para diseñar bermas de pie (Fuente: Manual del cubipodo 2015)

La fórmula previa se emplea para determinar la altura de la ola que la balsa puede resistir:

Tramo	W (t)	Dn50 (m)	Δ	ht (m)	hs (m)	Nod	Hs (m)
1a Alineación	0,1	0,34	1,59	2,33	3	1	2,73
2a Alineación	0,2	0,45	1,59	3,60	4,5	1	3,85
3a Alineación	0,5	0,60	1,59	4,30	5,5	1	4,94

Tabla 99. Altura de ola que puede resistir la balsa de pie (Fuente: Elaboración propia).

Al contrastar la altura de ola de cálculo (H) con la capacidad de soporte de la balsa de pie (Hs):

Tramo	H (m)	Hs (m)
1a Alineación	2,38	2,73
2a Alineación	3,50	3,85
3a Alineación	4,60	4,94

Tabla 100. Comparación entre la altura de ola de cálculo y la altura de ola que es capaz de soportar la balsa de pie (Fuente: Elaboración propia).

Se comprueba que la balsa dimensionada para cada tramo es capaz de soportar la altura de ola de cálculo. Por lo que las dimensiones de la balsa para cada tramo resultan:

Tramo	Anchura coronación (m)	Espesor (m)
1a Alineación	1,3	0,7
2a Alineación	1,8	0,9
3a Alineación	2,4	1,2

Tabla 101. Anchura de coronación y espesor de la balsa de pie (Fuente: Elaboración propia).

2.4.4. DETERMINACIÓN DE LA COTA DE CORONACIÓN

Según lo establecido en la "ROM 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las obras de abrigo", para diques sometidos a oleaje limitado por el fondo, el francobordo de la estructura necesario para evitar rebases puede aproximarse a H_b , que es la altura de cálculo y coincide con la altura de rotura del oleaje.

La cota de coronación del manto no debe ser inferior a $0.75 * H_b$, lo que corresponde a la cota mínima de la mota de trabajo.

Las cotas obtenidas para cada tramo, teniendo en cuenta la carrera de marea existente, que en el caso del Puerto de Gandía es de 0.86 metros, se presentan a continuación:

Tramo	Cotas de coronación (m)	
	Espaldón	Manto
1a Alineación	2,38	1,79
2a Alineación	3,50	2,63
3a Alineación	4,60	3,45

Tabla 102. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).

La construcción del dique se llevará a cabo utilizando medios terrestres, lo que requiere la implementación de una mota de trabajo. Como consecuencia, es imperativo que la coronación del núcleo se sitúe al menos 1 metro por encima del nivel de Pleamar de Marea Viva Equinoccial (PMVE).

En cuanto a los mantos de escollera, se recomienda que la sección superior tenga un espesor equivalente a dos veces el diámetro nominal ($2 * D_n$) en la coronación.

Al determinar la cota de coronación, es crucial considerar los potenciales efectos del cambio climático sobre el contradique, los cuales han sido analizados en detalle en el "Anejo nº6: Estudio del cambio climático". Para anticipar y mitigar posibles problemas futuros, se ha tomado en cuenta la proyección de aumento del nivel del mar de 0.7 metros, según lo establecido en dicho anejo.

Con el fin de prevenir rebases en el futuro, se ha decidido incorporar este posible incremento del nivel del mar en el diseño, aumentando consecuentemente la cota de coronación del espaldón. Esta medida proactiva busca garantizar la eficacia y durabilidad de la estructura a largo plazo, incluso frente a las condiciones cambiantes del clima.

Por lo que las cotas de coronación mínimas serán las siguientes:

- Cota de coronación manto = espesor manto + espesor filtro + 1 + carrera de marea
- Cota de coronación espaldón = espesor manto + espesor filtro + 1 + carrera de marea

Tramo	Espesor manto (m)	Espesor filtro (m)	Cotas de coronación (m)	
			Espaldón	Manto
1a Alineación	1,70	0,70	4,26	4,26
2a Alineación	2,00	0,90	4,76	4,76
3a Alineación	2,68	1,20	5,74	5,74

Tabla 103. Cotas de coronación del espaldón y del manto (Fuente: Elaboración propia).

Se han obtenido cotas superiores a las calculadas en la *tabla 73*, por lo que se tomarán las cotas de la *tabla 74*. Finalmente, las cotas de coronación de cada capa y del espaldón del contradique sobre el NMMA teniendo en cuenta la carrera de marea serán las siguientes:

Tramo	Cotas de coronación (m)			
	Núcleo	Filtro	Espaldón	Manto
1a Alineación	1,86	2,56	4,26	4,26
2a Alineación	1,86	2,76	4,76	4,76
3a Alineación	1,86	3,06	5,74	5,74

Tabla 104. Cotas de coronación de cada capa (Fuente: Elaboración propia).

2.4.5. CÁLCULO DEL ESPALDÓN

2.4.5.1. REBASES

Para asegurar un diseño adecuado del espaldón, se verificará si el rebase cumple con los criterios establecidos para la altura de coronación previamente calculada.

Este análisis se basará en las directrices del EurOtop 2018, utilizando sus tablas para determinar el caudal de rebase máximo permisible para este contradique específico. Para calcular el caudal de rebase real con el nuevo diseño, se empleará la ecuación propuesta por Smolka et al. (2009).

La tabla de referencia indica los valores máximos de caudal de rebase (q) para diferentes escenarios portuarios. En este caso, el contradique se clasifica en la segunda categoría, con un límite máximo de caudal de rebase de 1 litro por segundo por metro lineal (1 l/s/m).

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V _{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H _{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H _{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

Tabla 105. Rebases medios según situación (Fuente: Eurotop 2018).

Por otro lado, la ecuación de Smolka (2009) es la siguiente:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = D_1 \cdot \exp\left(D_2 \cdot Ir_p - D_3 \cdot \frac{A_c}{R_c} - D_4 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f}\right)$$

Siendo:

- g: Aceleración.
- H_{m0}: Altura de ola significativa a pie de dique.
- R_c: Francobordo de la estructura.
- A_c: Francobordo de la berma superior del manto.
- γ_f: Factor de rugosidad: γ_f = 0,46 para core-loc monocapa.
- $Ir_p = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{2\pi H_s / (g T_{01}^2)}}$
- D₁ = 0.2
- D₂ = 0.53
- D₃ = 3.27
- D₄ = 2.16

2ª Alineación

g (m/s ²)	Hm0 (m)	D1	D2	D3	D4	Irp	Ac (m)	Rc (m)	γf	q(l/s.m.l)
9,81	3,50	0,20	0,53	3,27	2,16	6,25	4,10	4,10	0,46	13,05

Tabla 106. Cálculo del valor q para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	l_{rp}	Ac (m)	Rc (m)	γ_f	q (l/s/m.l)
9,81	4,60	0,20	0,53	3,27	2,16	5,45	5,00	5,00	0,46	11,95

Tabla 107. Cálculo del valor q para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

Se observa que para ambos tramos el valor q está fuera de los parámetros, por lo que habrá problemas con los rebases. Es por eso por lo que se decide aumentar el francobordo de la estructura (R_c) en los dos tramos con el fin de obtener un rebase medio inferior a 1 (l/s/m).

En las siguientes tablas se observan los parámetros con los nuevos francobordos de las estructuras mínimos para poder cumplir con los requisitos exigidos por el EurOtop 2018 para la situación del nuevo contradique:

2ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	l_{rp}	Ac (m)	Rc aumentado (m)	γ_f	q (l/s/m.l)
9,81	3,50	0,20	0,53	3,27	2,16	6,25	4,10	6,90	0,46	0,96

Tabla 108. Cálculo del valor q para 2ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación

g (m/s ²)	$Hm0$ (m)	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$	l_{rp}	Ac (m)	Rc aumentado (m)	γ_f	q (l/s/m.l)
9,81	4,60	0,20	0,53	3,27	2,16	5,45	5,00	7,60	0,46	0,97

Tabla 109. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con Rc aumentado (Fuente: Elaboración propia).

2.4.5.2. FUERZAS SOBRE EL ESPALDÓN

Para calcular la fuerza horizontal máxima (F_h) y la fuerza vertical (subpresiones) que actúan sobre el espaldón del contradique en talud debido a la ola que genera la fuerza horizontal máxima ($F_v(F_h)$), se empleará el método descrito en el "Cubipod Manual 2016". Este método se basa en las ecuaciones desarrolladas por Molines (2016). Aunque estas fuerzas no ocurren simultáneamente en la realidad, se asume que actúan al mismo tiempo para garantizar un margen de seguridad adicional.

A continuación, se presenta un esquema de las fuerzas consideradas por Molines (2016) en el análisis de la estabilidad del espaldón:

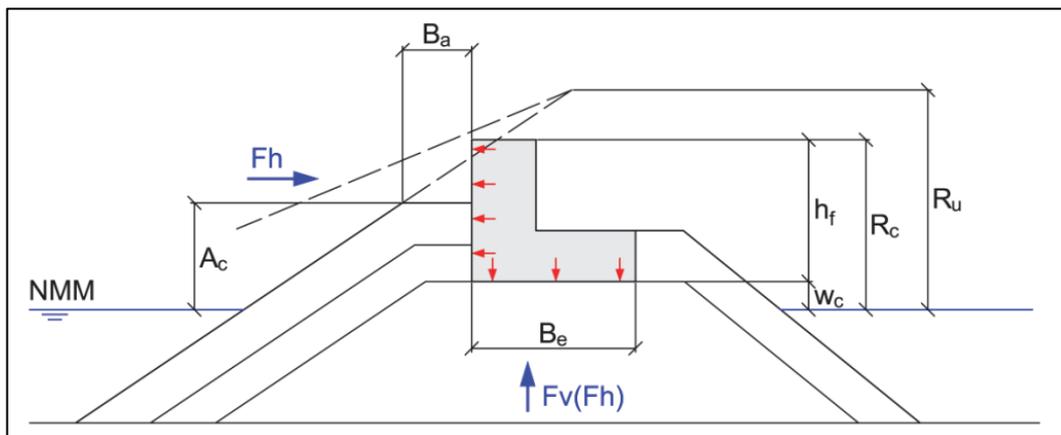


Imagen 15. Fuerzas que actúan sobre el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016).

Para estimar F_h y $F_v(F_h)$, Molines (2016) propone las siguientes fórmulas:

$$\frac{F_h}{0.5\rho_w g h_f^2} = \left(-1.29 + 1.80 \frac{\gamma_f R_u}{R_c} + 0.93 \left(\frac{R_c - A_c}{h_f} \right) + 0.16 \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} \right)^2$$

$$\frac{F_v(F_h)}{0.5\rho_w g h_f B_e} = \left(-0.86 + 0.75 \frac{\gamma_f \times R_u}{R_c} + 0.41 \left(\frac{R_c - A_c}{h_f} \right) + 0.17 \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} - 0.9 \frac{W_c}{h_f} \right)^2$$

$$2.58 H_s > R_u = R_{u0.1\%} = \begin{cases} 1.12 H_s I r_m & I r_m \leq 1.5 \\ 1.34 H_s I r_m^{0.55} & I r_m > 1.5 \end{cases}$$

$$\text{siendo: } I r_m = \tan \alpha / \sqrt{2\pi H_s / (g T_{01}^2)}$$

Siendo:

- R_c : Francobordo de la estructura.
- A_c : Francobordo de la berma superior del manto.
- γ_f : Factor de rugosidad: $\gamma_f = 0,46$ para core-loc monocapa.
- H_s : Altura de ola significativa a pie de dique.
- $\tan \alpha$: Pendiente de talud.
- W_c : Cota de cimentación del espaldón.

- B_a : Ancho de la berma superior.
- B_e : Anchura de la base del espaldón.
- h_f : Altura del espaldón.
- F_h : Fuerza horizontal máxima.
- p_w : Densidad del agua (Kg/m³ para N/m y dimensiones en metros).
- g : Aceleración-
- L_m : Longitud de onda local
- $T_{01} = T_p / 1,2$

Los rangos de validez de las variables utilizadas en las ecuaciones son las siguientes:

- $0.31 < \gamma_f * (R_u/R_c) < 0.94$
- $0.07 < (R_c - A_c)/h_f < 0.59$
- $0.01 < w_c/h_f < 0.27$
- $3.13 < \sqrt{\frac{L_m}{B_a}} < 6.54$

A continuación, se calculan las presiones y subpresiones para los dos tramos de cubo de hormigón:

2ª Alineación:

- Primer paso: Se calcula I_{r_m} .

$\tan\alpha$	H_s (m)	T_{01} (s)	g (m/s ²)	I_{r_m}
0,75	3,50	12,44	9,81	6,25

Tabla 110. Cálculo de I_{r_m} (Fuente: Elaboración propia).

- Segundo paso: Se calcula R_u .

H_s (m)	I_{r_m}	R_u (m)
3,50	6,25	12,85

Tabla 111. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).

La condición de este método es que $R_u < 2.58 * H_s = 9.03$ por lo que finalmente $R_u = 9.03$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	hs (m)	Lm (m)
9,81	12,44	6,06	93,39

Tabla 112. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

ρ_w (kg/m ³)	g (m/s ²)	hf (m)	γ_f	Ru (m)	Rc inicial	Rc (m)	Ac (m)	Lm (m)	$Ba = 3 \cdot Dn$ (m)	Be (m)	wc (m)
1,03	9,81	5,00	0,46	9,03	5,00	6,90	4,10	93,39	3,00	4,50	1,16

Tabla 113. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 112* se obtienen los siguientes valores:

Fh (kN/m)	$Fv(Fh)$ (kN/m)
185,07	12,61

Tabla 114. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación:

- Primer paso: Se calcula Ir_m .

$\tan\alpha$	Hs (m)	$T01$ (s)	g (m/s ²)	Ir_m
0,75	4,60	12,44	9,81	5,45

Tabla 115. Cálculo de Ir_m (Fuente: Elaboración propia).

- Segundo paso: Se calcula R_u .

Hs (m)	Ir_m	Ru (m)
4,60	5,45	15,67

Tabla 116. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).

La condición de este método es que $R_u < 2.58 \cdot H_s = 11.87$ por lo que finalmente $R_u = 11.87$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	hs (m)	Lm (m)
9,81	12,44	7,06	100,35

Tabla 117. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia).

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

pw (kg/m ³)	g (m/s ²)	hf (m)	γ_f	Ru (m)	Rc inicial (m)	Rc (m)	Ac (m)	Lm (m)	$Ba = 3 * Dn$ (m)	Be (m)	wc (m)
1,03	9,81	5,80	0,46	11,87	6,20	7,70	6,20	100,35	4,02	5,00	1,16

Tabla 118. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 117* se obtienen los siguientes valores:

Fh (kN/m)	$Fv(Fh)$ (kN/m)
247,53	17,26

Tabla 119. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia).

Calculados los elementos anteriores para los tres tramos con el método elegido, el factor de seguridad $S_1 = (W - Fv(Fh)) * m - Fh$ se puede estimar para calcular los factores de seguridad a deslizamiento y vuelco del espaldón.

El momento volcador debido a Fh y $Fv(Fh)$ se puede obtener con las siguientes ecuaciones propuestas por Molines (2016):

$$M(Fh) = 0.55 * h_f * Fh$$

$$M(Fv(Fh)) = 2/3 * B_e * Fh(Fh)$$

Con estas ecuaciones obtenemos los momentos, en mKn/m, para cada uno de los tramos:

Tramo	$M(Fh)$	$M(Fv(Fh))$
2a Alineación	508,94	37,82
3a Alineación	786,90	57,54

Tabla 120. Momento volcador para cada tramo (Fuente: Elaboración propia).

Las dimensiones del espaldón para cada uno de los tramos se muestran a continuación. Las dimensiones B_a , B_e y h_f son las que se han citado anteriormente, mientras que el resto de las

dimensiones han sido estimadas para que se garantice la seguridad a lo largo de todo el contradique.

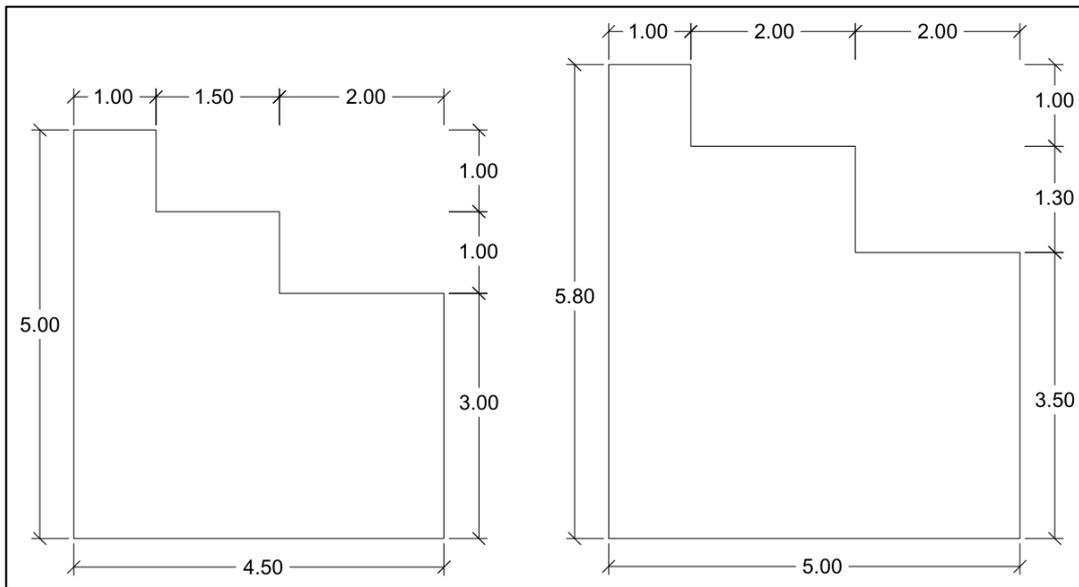


Imagen 16. Dimensiones del espaldón del contradique de core-loc de 2ª Alineación y 3ª Alineación respectivamente (Fuente: Elaboración propia)

2.4.6. COMPROBACIONES

A continuación, se van a realizar las comprobaciones necesarias para que la estructura sea totalmente segura y cumpla sus funciones correctamente.

Primeramente, se va a calcular el peso del espaldón en cada tramo ya que será necesario para comprobar sus cumplimientos frente a deslizamiento y hundimiento:

2ª Alineación:

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.00 + 1.50 * 4.00 + 2.00 * 3.00) = 400.25 \text{ kN/m}$$

3ª Alineación:

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.80 + 2.00 * 4.80 + 2.00 * 3.50) = 528.02 \text{ kN/m}$$

2.4.6.1. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTO

El coeficiente de seguridad frente a deslizamiento no debe ser inferior a 1.20, y se calcula de la siguiente manera:

$$F_d = \frac{\sum F_v}{\sum F_h} * m = \frac{W_E - Fv(Fh)}{Fh} * m$$

El coeficiente de rozamiento (m) adoptará el un valor equivalente a 0.60.

Los valores W_E , Fh y $Fv(Fh)$ están en kN/m.

2ª Alineación:

W_e	$Fv(Fh)$	Fh	F_d
400,25	12,61	185,07	1,26

Tabla 121. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación:

W_e	$Fv(Fh)$	Fh	F_d
528,02	17,22	253,53	1,21

Tabla 122. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

En las dos alineaciones hay estabilidad frente a deslizamiento.

2.4.6.2. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A VUELCO

La ROM 0.5-05 dice que el coeficiente de seguridad frente a vuelco se realizará de la siguiente manera:

$$F_v = \frac{\sum M_{stb}}{\sum M_{dstb}} = \frac{M(W_E) - M(Fv(Fh))}{M(Fh)}$$

En este caso, el coeficiente de seguridad frente a vuelco no debe ser inferior a 1.20.

Los valores $M(W_E)$, $M(Fh)$ y $M(Fv(Fh))$ están en mkN/m.

2ª Alineación:

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.00 * 4.00 + 1.50 * 4.00 * 2.75 + 2.00 * 3.00 * 1.00) = 1000.62$$

$M(We)$	$M(Fv(Fh))$	$M(Fh)$	Fv
1000,62	37,82	508,94	1,89

Tabla 123. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

3ª Alineación:

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (1.00 * 5.80 * 4.00 + 2.00 * 4.80 * 3.00 + 2.00 * 3.50 * 1.00) = 1460.25$$

$M(We)$	$M(Fv(Fh))$	$M(Fh)$	Fv
1460,25	57,39	812,54	1,73

Tabla 124. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia).

Las tres alineaciones son estables frente a vuelco.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 9: ALTERNATIVA ELEGIDA



Índice

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	CRITERIOS.....	4
3.	ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS	5
	3.1. ALTERNATIVA 1: ESCOLLERA.	5
	3.2. ALTERNATIVA 2: CUBO DE HORMIGÓN.....	6
	3.3. ALTERNATIVA 3: CUBÍPODO	6
	3.4. ALTERNATIVA 4: CORE-LOC	7
	3.5. VALORACIÓN FINAL	7
4.	VERIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	8
	4.1. REBASES.....	9
	4.2. FUERZAS SOBRE EL ESPALDÓN	9
	4.3. COMPROBACIONES.....	11
5.	SOLUCIÓN FINAL.....	13
	5.1. PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL.....	13
	5.2. PESO Y ESPESOR DEL FILTRO	13
	5.3. DIMENSIONES DE LA BERMA DE PIE	14
	5.4. DIMENSIONES DEL ESPALDÓN.....	14

Índice de Imágenes

Imagen 1. Dimensiones del espaldón de la 3ª Alineación el contradique (Fuente: Elaboración propia).....	11
Imagen 2. Esquema de las dimensiones relacionadas con el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016)	14
Imagen 3. Esquema de las dimensiones del espaldón (Fuente: Elaboración propia)	15

Índice de Tablas

Tabla 1. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con R_c de la 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	9
Tabla 2. Cálculo de I_{rm} (Fuente: Elaboración propia).....	10
Tabla 3. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia).....	10
Tabla 4. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia)	10
Tabla 5. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)	10
Tabla 6. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)	10
Tabla 7. Momento volcador para el tercer tramo (Fuente: Elaboración propia)	11
Tabla 8. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	12
Tabla 9. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)	13
Tabla 10. Peso y espesor del manto principal de la solución final (Fuente: Elaboración propia)	13
Tabla 11. Peso y espesor del filtro de la solución final (Fuente: Elaboración propia).....	13
Tabla 12. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie de la solución final (Fuente: Elaboración propia)	14
Tabla 13. Dimensiones relacionadas con el espaldón de la solución final (Fuente: Elaboración propia)	15

1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene como objetivo realizar un análisis exhaustivo de las alternativas previamente dimensionadas en el "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas".

En estas secciones, se evaluará cada alternativa propuesta. Para ello, se usarán criterios de evaluación cuidadosamente seleccionados, que se explicarán en profundidad en este anejo. Estos criterios permitirán una comparación objetiva y sistemática de las opciones disponibles.

El análisis realizado en este documento servirá como base para la selección de la alternativa más adecuada, considerando aspectos técnicos, económicos, ambientales y funcionales del proyecto entre otros. La metodología utilizada y los resultados obtenidos proporcionarán una justificación sólida para la elección final.

2. CRITERIOS

Es esencial definir una serie de parámetros para poder comparar y jerarquizar las diferentes soluciones, ya que el propósito de un análisis multicriterio es identificar la alternativa más adecuada.

CRITERIOS ECONÓMICOS.

Este criterio será determinante para identificar la opción más idónea. Se intentará reducir los costos al mínimo sin comprometer la eficiencia en la construcción. Asimismo, este factor abarca los beneficios operativos, un aspecto de gran importancia con miras al futuro.

CRITERIOS AMBIENTALES

El desarrollo de infraestructuras portuarias conlleva considerables repercusiones ecológicas en el entorno marítimo, alterando no solo el paisaje visual, sino también los procesos costeros y las zonas de playa adyacentes. Sin embargo, en este caso particular, al tratarse de la expansión de un puerto ya en funcionamiento, las consecuencias ambientales se prevén menos pronunciadas. Esto se debe a que las modificaciones respecto a la situación actual no serán drásticas, lo que implica que el impacto adicional sobre el ecosistema será relativamente limitado en comparación con la construcción de un puerto completamente nuevo.

CRITERIOS FUNCIONALES

Este parámetro de evaluación se enfoca en los aspectos técnicos de la estructura. Se analizará la durabilidad y confiabilidad a lo largo del tiempo, así como la solidez y robustez de la construcción. Además, se examinará su capacidad para manejar el ascenso y desbordamiento de las aguas. Estos elementos son cruciales para garantizar la integridad y funcionalidad de la infraestructura a largo plazo, asegurando su resistencia ante las condiciones marítimas y climáticas adversas.

CRITERIOS ESTÉTICOS

Estos aspectos se vinculan con la percepción de coherencia y unificación que la ampliación del puerto debe lograr en relación con la infraestructura preexistente. Una planificación estética acertada tiene el potencial de atraer visitantes, y en ciertos casos, puede dar lugar a la creación de amplias áreas recreativas dentro de las instalaciones náuticas deportivas. Cabe destacar que

ciertos materiales de construcción permiten reducir la altura máxima del dique, lo cual se traduce en una evaluación más favorable bajo estos criterios estéticos y funcionales. Esta consideración no solo mejora la integración visual del proyecto con su entorno, sino que también puede aumentar su atractivo y utilidad para los usuarios.

3. ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS

A continuación, se van a analizar las alternativas y se van a comparar para cada uno de los criterios:

3.1. ALTERNATIVA 1: ESCOLLERA.

Esta alternativa para el contradique contempla el uso de escollera en sus tres secciones. Desde una perspectiva económica, se presenta como una opción favorable, dado que el contradique existente también está construido con este material. La escollera actual, compuesta por bloques de entre 2 y 7 toneladas, podría ser reutilizada en los mantos principales de los dos primeros tramos.

No obstante, como se detalla en el "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas", el último tramo requiere bloques de mayor peso unitario en comparación con otras alternativas consideradas.

En términos medioambientales, la reutilización de la escollera del contradique antiguo representa una ventaja significativa. Esta estrategia eliminaría la necesidad de explotar canteras adicionales y reduciría los costos y el impacto asociados al transporte de nuevos materiales.

Desde el punto de vista funcional, es importante considerar que la escollera presenta un coeficiente de estabilidad hidráulica relativamente bajo. Esto implica un cierto riesgo debido a la limitada trabazón entre las piezas.

En cuanto al aspecto estético, esta alternativa requiere un espaldón más elevado en comparación con otras opciones. Esta característica podría resultar menos atractiva para los visitantes y podría limitar el potencial para desarrollar nuevas áreas de ocio en la zona.

3.2. ALTERNATIVA 2: CUBO DE HORMIGÓN

Esta alternativa contempla el uso de cubos de hormigón para la construcción del contradique. Según se indica en el "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas", esta opción implicaría el uso de elementos de considerable peso. Desde el punto de vista económico, se descarta para el manto principal, ya que la utilización de piezas prefabricadas de gran tamaño y peso aumentaría significativamente el costo total del proyecto, haciéndolo poco viable.

En cuanto a la funcionalidad, los cubos de hormigón ofrecen un coeficiente de estabilidad hidráulica superior al de la escollera. Sin embargo, es relevante mencionar que existen otras alternativas que podrían mejorar aún más este aspecto, las cuales se analizarán más adelante.

Desde la perspectiva estética, esta opción presenta una ventaja parcial, ya que el espaldón requerido tendría una altura menor en comparación con la escollera. No obstante, las dimensiones considerablemente grandes de los cubos de hormigón, que son superiores a las de las piezas propuestas en las dos alternativas siguientes, limitan su atractivo visual. Por lo tanto, esta solución no se considera la más adecuada desde un punto de vista estético.

3.3. ALTERNATIVA 3: CUBÍPODO

Esta alternativa contempla el uso de cubípodos para la construcción del manto principal. Según se detalla en el análisis del proyecto, el cubípedo es una pieza masiva con una elevada resistencia estructural, lo que permite su colocación aleatoria y asegura una porosidad uniforme en el talud.

Desde el punto de vista económico, la utilización de cubípodos resulta ventajosa, ya que el ahorro en materiales contribuye a reducir significativamente el costo total del proyecto, haciéndolo una opción viable y atractiva. En cuanto a la funcionalidad, los Cubípodos ofrecen una excelente resistencia estructural y estabilidad hidráulica, lo que los convierte en una solución eficaz para el manto principal en este contexto específico.

Desde la perspectiva estética, el uso de cubípodos presenta una ventaja parcial. Aunque su diseño masivo podría no ser el más atractivo visualmente, su colocación aleatoria y su integración en el entorno permiten una apariencia más natural y menos intrusiva en comparación con otras opciones de gran tamaño y peso. Por lo tanto, esta solución se considera adecuada tanto desde un punto de vista funcional como estético, destacando como una alternativa ideal para el proyecto.

3.4. ALTERNATIVA 4: CORE-LOC

Esta alternativa considera la implementación de elementos core-loc en la construcción del manto principal. Estos componentes, fabricados en hormigón, se emplean como escudo protector en estructuras marítimas como rompeolas y defensas costeras.

En términos económicos, la opción de core-loc podría ser ventajosa debido a su menor requerimiento de hormigón comparado con otras soluciones. No obstante, es crucial tener en cuenta los gastos extras vinculados a su proceso de instalación.

Respecto a la operatividad, los core-loc presentan desafíos particulares en su colocación. Su instalación demanda una configuración específica y exacta, lo que conlleva el uso de equipamiento especializado y personal altamente capacitado. Estas exigencias no solo elevan los costos operativos, sino que también aumentan los riesgos inherentes a la construcción, haciendo que el proceso sea potencialmente más arriesgado en comparación con otras alternativas.

Desde el punto de vista estético, los core-loc ofrecen beneficios similares a otros elementos prefabricados. La reducción en la altura del espaldón contribuye a mejorar el aspecto visual general. Sin embargo, es fundamental recordar que el resultado final dependerá en gran medida de la correcta disposición de las piezas, ya que una colocación inadecuada podría comprometer tanto la estabilidad como la apariencia de la estructura.

Cabe destacar que, debido a la limitada aplicación de estos elementos, existe una carencia de información detallada sobre su rendimiento a largo plazo en diversas condiciones. Esta falta de datos podría representar un factor de incertidumbre adicional al evaluar esta opción para el proyecto.

3.5. VALORACIÓN FINAL

Tras un exhaustivo análisis y cálculo de las alternativas propuestas, se ha llegado a una solución óptima para la construcción del contradique. Esta solución combina eficiencia, economía y consideraciones ambientales.

Tal como se ha establecido en el "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas", el manto principal del primer tramo estará compuesto por escollera. Esta configuración es idéntica para las cuatro alternativas que han sido objeto de estudio.

Para el segundo tramo, se ha determinado que la mejor opción, tanto desde el punto de vista económico como ambiental, es utilizar escollera. Esta decisión permite la reutilización de la escollera que forma parte del antiguo contradique, lo que representa una solución sostenible y eficiente en términos de recursos.

Para el manto principal del tercer tramo, se ha optado por el uso de cubípodo. Aunque las piezas esbeltas fueron consideradas, se descartaron debido a los desafíos que presentan, principalmente las altas tensiones de tracción que requieren hormigón de alta calidad o armado, lo cual incrementaría significativamente los costos.

Los cubípodos destacan por su eficiencia en producción, con tiempos de desencofrados rápidos (6-8 horas) y alta productividad (2-3 bloques por encofrado al día). En comparación con los cubos convencionales, los cubípodos ofrecen una robustez y facilidad de manejo similares, pero con una estabilidad hidráulica superior. Su capacidad de colocación en una sola capa y adaptación al talud evita problemas de alineación que podrían comprometer la estabilidad de la estructura.

En cuanto al espaldón, se ha decidido mantener una uniformidad a lo largo de toda la estructura. Se continuará con el espaldón existente en el tramo 2, que tiene mayores dimensiones que el requerido para el tramo 3 de cubípodos. Aunque se presume que esta configuración cumplirá con los requisitos necesarios debido al sobredimensionamiento, se realizarán cálculos finales para verificar que el espaldón cumple con todas las normas y especificaciones técnicas pertinentes.

Esta solución integral combina las ventajas de diferentes materiales y técnicas constructivas, optimizando la eficiencia, la estabilidad y el impacto ambiental del proyecto.

4. VERIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Con el fin de corroborar las afirmaciones anteriores, se hace imprescindible llevar a cabo una evaluación exhaustiva del tramo 3. Esta verificación se centrará en examinar el rendimiento del espaldón empleado en el tramo 2, con la intención de extender su aplicación al tramo 3. En este

proceso de verificación, se integrará el estudio del comportamiento de los elementos de protección denominados cubípodos.

4.1. REBASES

Se realizarán los mismos cálculos que en el "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas", empleando la ecuación de Smolka (2009) y estableciendo que el rebase medio (q) no podrá exceder el máximo de 1 (l/s/m). A continuación se presenta la ecuación correspondiente a Smolka (2009):

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = D_1 \cdot \exp\left(D_2 \cdot I_{rp} - D_3 \cdot \frac{A_c}{R_c} - D_4 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f}\right)$$

En la siguiente tabla se presentan los parámetros correspondientes al nuevo francobordo de la estructura en el tramo 3 (idéntico al del tramo 2), cumpliendo con los requisitos del EurOtop 2018:

g (m/s ²)	Hm0 (m)	D1	D2	D3	D4	Irp	Ac (m)	Rc aumentado (m)	γf	q(l/s/m.l)
9,81	4,60	0,20	0,53	3,27	2,16	4,83	5,16	8,66	0,46	0,25

Tabla 1. Cálculo del valor q para 3ª Alineación con Rc de la 2ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

Con este nuevo francobordo de la estructura (Rc), el rebase medio en el tramo 3 se mantendrá por debajo del límite establecido en el EurOtop 2018. Este incremento en el francobordo de la estructura afectará la cota de coronación del espaldón, que será la misma que en el tramo 2, dado que la estructura tendrá las mismas dimensiones.

4.2. FUERZAS SOBRE EL ESPALDÓN

Para determinar la fuerza horizontal máxima (Fh) y la fuerza vertical (subpresiones) ejercidas sobre el nuevo espaldón del tercer tramo del contradique en talud, correspondientes a la ola que ha generado la máxima fuerza horizontal (Fv(Fh)), se utilizará el método propuesto en el "Cubipod Manual 2016", basado en las ecuaciones publicadas por Molines (2016), tal y como se hace en el "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas". "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas".

- Primer paso: Se calcula I_{r_m} .

$\tan\alpha$	H_s (m)	$T01$ (s)	g (m/s ²)	I_{r_m}
0,67	4,60	12,44	9,81	4,83

Tabla 2. Cálculo de I_{r_m} (Fuente: Elaboración propia)

- Segundo paso: Se calcula R_u .

H_s (m)	I_{r_m}	R_u (m)
4,60	4,83	14,66

Tabla 3. Cálculo de R_u (Fuente: Elaboración propia)

La condición de este método es que $R_u < 2.58 * H_s = 11.87$ por lo que finalmente $R_u = 11.87$.

- Tercer paso: Se calcula L_m :

g (m/s ²)	$T01$ (s)	h_s (m)	L_m (m)
9,81	12,44	7,06	100,35

Tabla 4. Cálculo de L_m (Fuente: Elaboración propia)

- Último paso: Se calculan las presiones y subpresiones sobre el espaldón:

ρ_w (kg/m ³)	g (m/s ²)	h_f (m)	γ_f	R_u (m)	$R_{cInicial}$	R_c (m)	A_c (m)	L_m (m)	$Ba = 3 * D_n$ (m)	Be (m)	w_c (m)
1,03	9,81	6,80	0,46	11,87	5,16	8,66	5,16	100,35	4,20	5,00	1,16

Tabla 5. Parámetros para el cálculo de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, con los parámetros de la *tabla 30* se obtienen los siguientes valores:

F_h (kN/m)	$F_v(F_h)$ (kN/m)
284,11	14,40

Tabla 6. Valores de la presión y subpresión sobre el espaldón (Fuente: Elaboración propia)

Una vez calculados los elementos anteriores para los tres tramos utilizando el método seleccionado, el factor de seguridad $S_1 = (W - Fv(Fh)) * m - Fh$ se puede estimar para determinar los factores de seguridad contra deslizamiento y vuelco del espaldón. El momento volcador debido a Fh y $Fv(Fh)$ e puede obtener mediante las siguientes ecuaciones propuestas por Molines (2016):

$$M(Fh) = 0.55 * h_f * Fh$$

$$M(Fv(Fh)) = 2/3 * B_e * Fh(Fh)$$

Con estas ecuaciones obtenemos los momentos, en mKn/m , para cada uno de los tramos:

$M(Fh)$ (mkN/m)	$M(Fv(Fh))$ (mkN/m)
1062,57	48,00

Tabla 7. Momento volcador para el tercer tramo (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se muestran las dimensiones del espaldón para cada tramo. Las dimensiones B_a , B_e y h_f corresponden a las mencionadas anteriormente, mientras que las demás han sido estimadas para garantizar la seguridad en todo el tercer tramo el contradique.

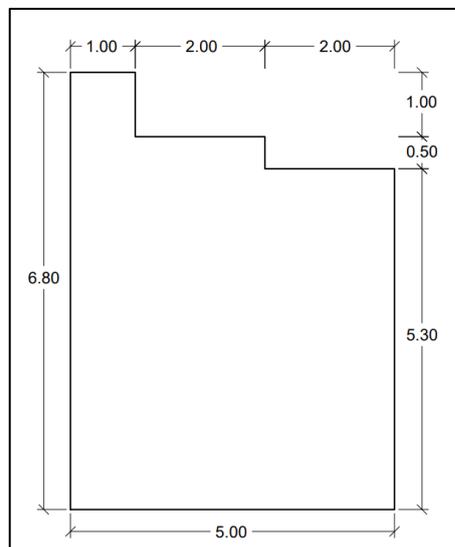


Imagen 1. Dimensiones del espaldón de la 3ª Alineación el contradique (Fuente: Elaboración propia)

4.3. COMPROBACIONES

A continuación, se realizarán las comprobaciones necesarias para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de la estructura. Se calculará el peso del espaldón en el tercer tramo

(idéntico al del tramo anterior), ya que es crucial para verificar su resistencia al deslizamiento y hundimiento.

$$W_E = 9.81 * 2.4 * (6.80 * 1.00 + 5.80 * 1.00 + 5.30 * 2.00) = 682.80 \text{ kN/m}$$

4.3.1.1. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTO

El coeficiente de seguridad frente al deslizamiento debe ser al menos 1.20 y se calcula de la siguiente manera:

$$F_d = \frac{\sum F_v}{\sum F_h} * m = \frac{W_E - Fv(Fh)}{Fh} * m$$

El coeficiente de rozamiento (m) se establece en 0.60.

Los valores W_E , Fh y $Fv(Fh)$ están en kN/m.

We	$Fv(Fh)$	Fh	Fd
682,80	14,40	284,11	1,41

Tabla 8. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a deslizamiento para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

En el tercer tramo, la estructura es estable frente al deslizamiento.

4.3.1.2. VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD FRENTE A VUELCO

Según la ROM 0.5-05, el coeficiente de seguridad frente al vuelco se calcula de la siguiente manera:

$$F_v = \frac{\sum M_{stb}}{\sum M_{dstb}} = \frac{M(W_E) - M(Fv(Fh))}{M(Fh)}$$

En este caso, el coeficiente de seguridad frente al vuelco no debe ser inferior a 1.20.

Los valores $M(W_E)$, $M(Fh)$ y $M(Fv(Fh))$ están en mkN/m.

$$M(W_E) = 9.81 * 2.4 * (6.80 * 1.00 * 4.50 + 5.80 * 2.00 * 3.00 + 5.30 * 2.00 * 1.00) = 1789.34$$

$M(We)$	$M(Fv(Fh))$	$M(Fh)$	Fv
1789,34	48,00	1062,57	1,64

Tabla 9. Cálculo del coeficiente de seguridad frente a vuelco para 3ª Alineación (Fuente: Elaboración propia)

El tercer tramo es estable frente al vuelco.

5. SOLUCIÓN FINAL

A continuación, se presentará la solución final, donde se detallarán y proporcionarán los datos finales correspondientes a los tres tramos del contradique:

5.1. PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL

El contradique se compone de tres tramos. Los dos primeros están conformados principalmente por escollera, mientras que el tercer tramo utiliza cubípodos como elemento principal.

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	1,50	0,85
2a Alineación	Escollera	2	5,00	1,25
3a Alineación	Cubípedo	1	6,00	1,40

Tabla 10. Peso y espesor del manto principal de la solución final (Fuente: Elaboración propia)

5.2. PESO Y ESPESOR DEL FILTRO

Entre el núcleo y el manto principal que protege el contradique, se encuentra el filtro, compuesto en este caso por varias capas de materiales granulares. En la tabla siguiente se presentan los datos correspondientes a los tres tramos:

Tramo	Wfiltro (t)	Nº de Capas	Dn (m)
1a Alineación	0,1	2	0,35
2a Alineación	0,5	2	0,60
3a Alineación	0,5	2	0,60

Tabla 11. Peso y espesor del filtro de la solución final (Fuente: Elaboración propia)

5.3. DIMENSIONES DE LA BERMA DE PIE

La berma de pie proporcionará el soporte adecuado al manto principal y desempeñará un papel importante en la estructura. Los materiales empleados en la berma serán los mismos que los del filtro, según el tramo correspondiente. A continuación, se muestra una tabla con las dimensiones de la berma de pie:

Tramo	Anchura coronación (m)	Espesor (m)	Wberma (t)
1a Alineación	1,3	0,7	0,1
2a Alineación	2,4	1,2	0,5
3a Alineación	2,4	1,2	0,5

Tabla 12. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie de la solución final (Fuente: Elaboración propia)

5.4. DIMENSIONES DEL ESPALDÓN

El espaldón es el muro que se ubicará en la parte superior del contradique, con el objetivo de optimizar estructuralmente la sección del dique y aumentar la altura de la coronación para minimizar los rebases. Este espaldón estará diseñado en hormigón en masa y contará con las dimensiones indicadas en la *tabla 13* y la *imagen 3*. A continuación, se describe el significado de cada columna de la tabla:

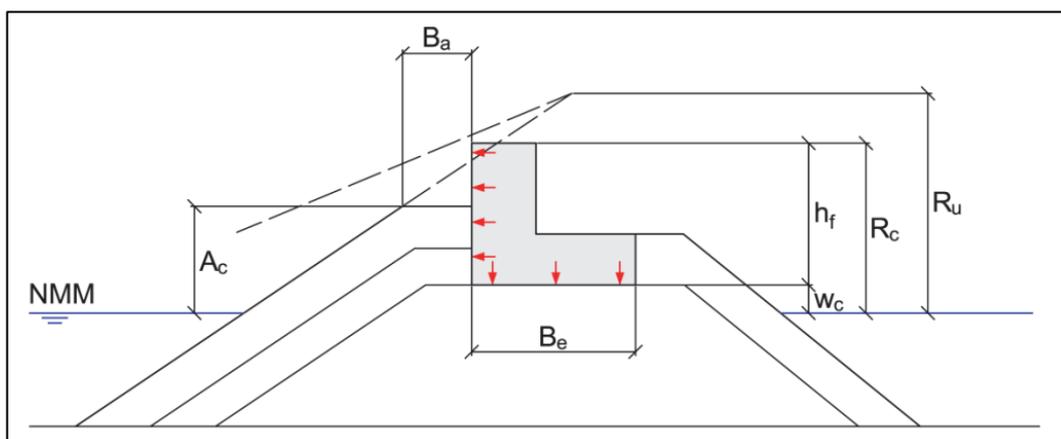


Imagen 2. Esquema de las dimensiones relacionadas con el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016)

Siendo:

- A_c : Francobordo de la berma superior del manto.
- B_a : Ancho de la berma superior.
- B_e : Anchura de la base del espaldón.
- W_c : Cota de cimentación del espaldón.
- h_f : Altura del espaldón.
- R_c : Francobordo de la estructura.

A continuación, se presentan los valores mencionados anteriormente, los cuales también se detallan en la *Imagen 2*:

Tramo	A_c (m)	B_a (m)	B_e (m)	W_c (m)	h_f (m)	R_c (m)	R_u (m)
1a Alineación	3,53	2,55	3,50	1,16	4,50	6,33	6,14
2a Alineación	4,86	3,75	5,00	1,16	6,80	8,66	9,03
3a Alineación	5,16	4,20	5,00	1,16	6,80	8,66	11,87

Tabla 13. Dimensiones relacionadas con el espaldón de la solución final (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, se añaden los esquemas con las dimensiones del espaldón correspondiente a cada tramo del contradique:

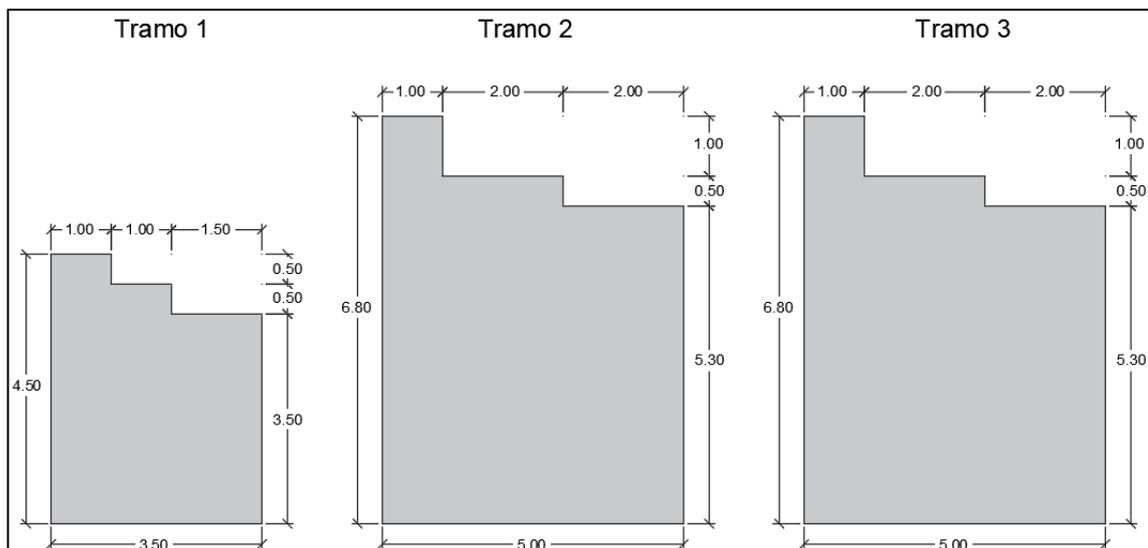


Imagen 3. Esquema de las dimensiones del espaldón (Fuente: Elaboración propia)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 10: PROCESO CONSTRUCTIVO



Índice

1. OBJETO.....	3
2. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	4
2.1. GESTIÓN DE RESIDUOS	4
2.2. MATERIALES DEL MANTO PRINCIPAL.....	5
2.2.1. ESCOLLERA	5
2.2.2. CUBÍPODOS	6
2.3. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL nuevo CONTRADIQUE	9
2.3.1. COLOCACIÓN DE LA BARRERA DE CONTENCIÓN	9
2.3.2. RETIRADA DEL CONTRADIQUE EXISTENTE	10
2.3.3. CONSTRUCCIÓN DEL CONTRADIQUE	11
2.3.4. EJECUCIÓN DEL ESPALDÓN	15

Índice de Imágenes

Imagen 1. Ubicación de la planta de reciclaje seleccionada (Fuente: Google maps).....	4
Imagen 2. Ubicación de la cantera seleccionada (Fuente: Google maps).....	5
Imagen 3. Esquema de las dimensiones del cubípodo (Fuente: Elaboración propia).....	7
Imagen 4. Ubicación de la zona de acopio y encofrado de cubípodos (Fuente: Google earth).....	8
Imagen 5. Localización de la pradera marina (Fuente: Visor de Gortografía GVA).....	10
Imagen 6. Barrera de contención (Fuente: elastec.com).....	10
Imagen 7. Grúa pulpo de tres brazos colocando escollera (Fuente: gruasnelson.com).....	14
Imagen 8. Colocación de cubípodos mediante pinzas de presión doble (Fuente:cubipod.com).....	15
Imagen 9. Encofrado del espaldón (Fuente: rubricaingenieria.com).....	16

Índice de Tablas

Tabla 1. Características principales del cubípodo del manto principal del tramo 3 (Fuente: Elaboración propia).....	7
Tabla 2. Escollera a retirar del contradique actual (Fuente: Elaboración propia).....	11
Tabla 3. Materiales necesarios para el tramo 1 del nuevo contradique (Fuente: Elaboración propia).....	12
Tabla 4. Materiales necesarios para el tramo 2 del nuevo contradique (Fuente: Elaboración propia).....	12
Tabla 5. Materiales necesarios para el tramo 3 del nuevo contradique (Fuente: Elaboración propia).....	12

1. OBJETO

El propósito de este anejo es detallar exhaustivamente el proceso constructivo del contradique en el "Estudio de soluciones para el diseño y construcción del nuevo contradique de Gandía (València)".

Es importante señalar que la metodología constructiva aquí presentada no es la única viable, dada la amplia gama de equipos y técnicas disponibles para cada fase de la construcción. Este documento ofrece una descripción detallada de una estrategia constructiva específica, reconociendo la existencia de alternativas igualmente válidas.

2. PROCESO CONSTRUCTIVO

2.1. GESTIÓN DE RESIDUOS

La ejecución de un proyecto de esta envergadura, como es la construcción de un nuevo contradique en el puerto de Gandía, produce una considerable cantidad de desechos, tanto de forma directa (provenientes de materiales y maquinaria) como indirecta (derivados de actividades relacionadas). Para mitigar el impacto ambiental de estos residuos, se implementarán estrategias específicas.

Se llevará a cabo una clasificación meticulosa de los escombros, lo cual optimizará su transporte, disposición y eventual reciclaje. Los desechos serán trasladados a la instalación de procesamiento más próxima al sitio de construcción.

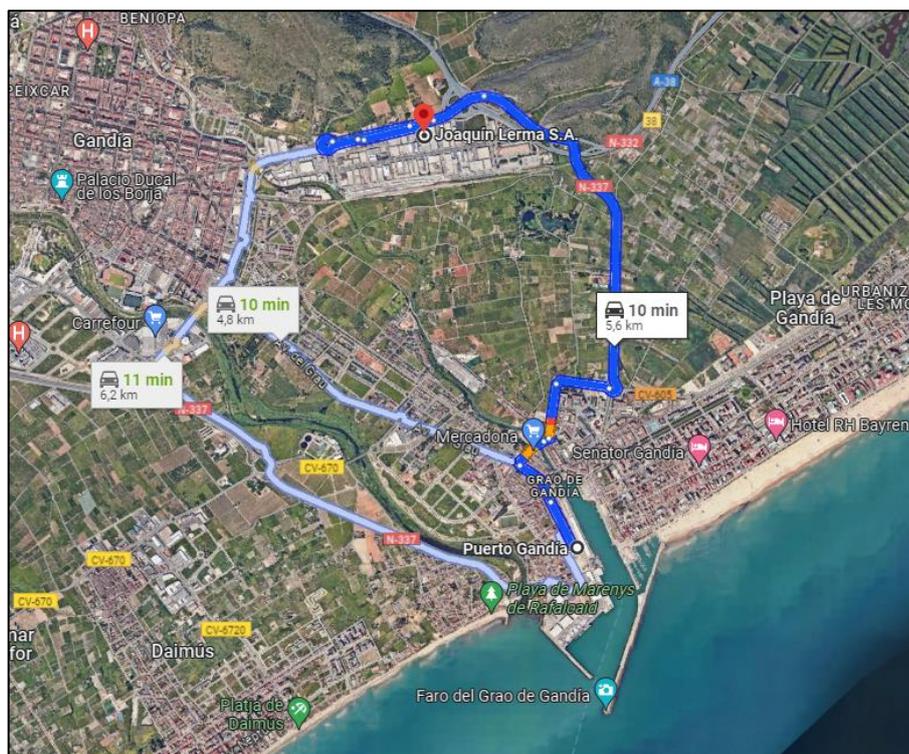


Imagen 1. Ubicación de la planta de reciclaje seleccionada (Fuente: Google maps)

Esta planta de reciclaje, operada por Joaquín Lerma S.A., se encuentra a una distancia de 5,6 kilómetros de la obra.

2.2. MATERIALES DEL MANTO PRINCIPAL

2.2.1. ESCOLLERA

La construcción de los tramos 1 y 2 aprovechará la escollera extraída del manto principal del contradique existente. Asimismo, los materiales necesarios para el filtro y la berma de pie de los tres tramos se obtendrán reutilizando el material ya presente en la estructura actual.

Para cubrir el volumen adicional requerido, se extraerá la escollera restante de la cantera más cercana, ubicada a tan solo 9,5 kilómetros de distancia. Esta proximidad ofrece dos ventajas significativas:

- **Economía:** El transporte de la roca al puerto resultará considerablemente económico debido a la corta distancia.
- **Sostenibilidad:** El recorrido reducido implica un bajo impacto ambiental asociado al transporte de materiales.

Esta estrategia de reutilización de materiales existentes y la obtención de recursos adicionales de una fuente cercana contribuye a la eficiencia del proyecto, tanto en términos económicos como ambientales.

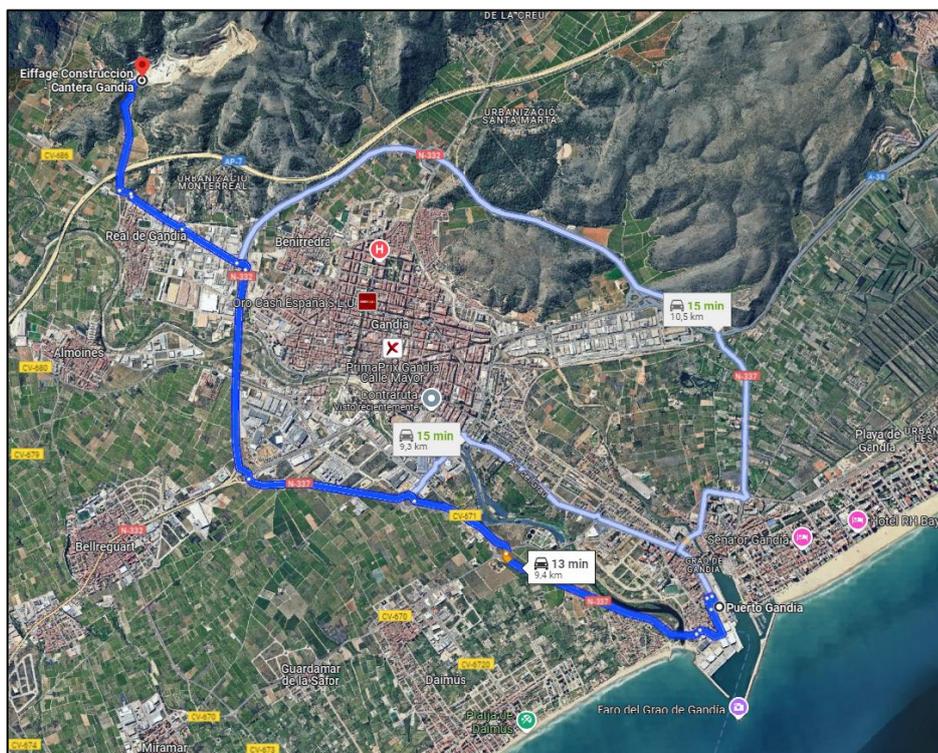


Imagen 2. Ubicación de la cantera seleccionada (Fuente: Google maps)

2.2.2. CUBÍPODOS

En esta sección se abordará todo lo relacionado con los cubípodos que se utilizarán en el nuevo contradique, específicamente en el manto principal del tramo 3:

2.2.2.1. FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN

La pieza elegida presenta ventajas significativas en su proceso de fabricación debido a su naturaleza masiva. Esta característica resulta en tensiones de tracción relativamente bajas, lo que facilita una producción, manejo y colocación seguros, eliminando el riesgo de fracturas tanto a corto como a largo plazo.

Dada la considerable masa de la pieza, no es necesario utilizar un hormigón de alta calidad. Esta característica permite cierta flexibilidad en la selección de los materiales y en el proceso de fabricación, lo que podría resultar en una optimización de costos sin comprometer la integridad estructural del elemento.

2.2.2.2. FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES

El proceso de fabricación de los cubípodos se desarrolla en varias etapas clave. En primer lugar, se lleva a cabo la preparación del encofrado, que utiliza un sistema compuesto por una base estática y un encofrado superior con elementos articulados y laterales. Este diseño facilita el vertido del hormigón y su compactación.

El vertido del hormigón se realiza en dos fases para asegurar una compactación adecuada y eliminar burbujas de aire. Durante este proceso, se aplica vibración controlada, lo que permite lograr una distribución uniforme del hormigón y obtener una estructura homogénea de alta calidad.

Una vez completado el vertido, se permite un período de curado de aproximadamente 6 horas. Tras este tiempo, el encofrado se abre verticalmente, lo que minimiza el riesgo de daños a las piezas y agiliza el ciclo de producción. Para mejorar la eficiencia en las operaciones de desencofrado y aumentar el rendimiento, se ha incorporado una inclinación del 2.5% en las caras verticales de la pieza. Esta técnica es tradicional en la fabricación de cubos convencionales y facilita el proceso de desencofrado. Para calcular las dimensiones de los lados, es necesario utilizar la relación entre el lado (L) y el espesor medio de las piezas (D_n).

$$L = \frac{D_n}{1,065} = \frac{1,40}{1,065} = 1,32 \approx 1,40 \text{ m}$$

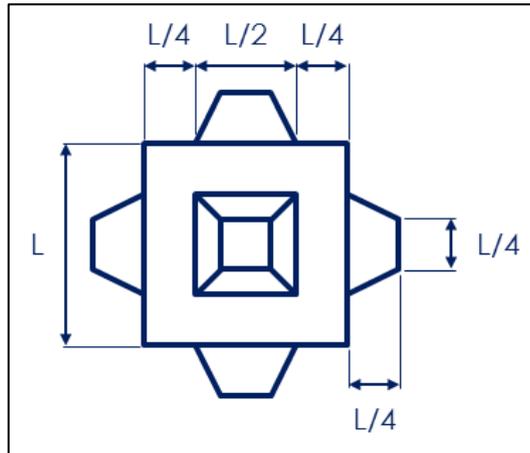


Imagen 3. Esquema de las dimensiones del cubípodo (Fuente: Elaboración propia)

La siguiente tabla que muestra las características principales del cubípodo, así como la cantidad de piezas requeridas para el manto principal:

CARACTERÍSTICAS CUBÍPODO	
Dn (m)	1,4
Peso pieza (t)	6
Densidad (t/m ³)	2,3
L (m)	1,4
L/2 (m)	0,7
L/4 (m)	0,35
Volumen (m ³)	5604
Volumen pieza (m ³)	3
Número de piezas	1868

Tabla 1. Características principales del cubípodo del manto principal del tramo 3 (Fuente: Elaboración propia).

2.2.2.3. ACOPIO DE LOS BLOQUES

Para el acopio de los cubípodos se requiere una zona libre y adecuadamente preparada. El proceso de acopio es importante, ya que las piezas deben permanecer en esta área durante 28 días hasta alcanzar la resistencia de proyecto necesaria antes de ser trasladadas al emplazamiento de la obra. Se debe preparar el terreno excavando pequeños agujeros en el suelo para acomodar las protuberancias de las caras inferiores de los cubípodos, además de

colocar una capa de material granular permeable que facilite el drenaje y proporcione una base estable.

Se plantea una estrategia de organización eficiente para las piezas, disponiéndolas en filas que podrían alcanzar alturas de entre 4 y 5 unidades. Para implementar este sistema, se propone la utilización de dos parcelas contiguas, las cuales se muestran en la *Imagen 4*.

Estas áreas han sido identificadas como idóneas para múltiples propósitos. En primer lugar, servirían como espacio para el encofrado y el almacenamiento de los bloques. Además, estas parcelas ofrecerían un lugar adecuado para el acopio de los diversos materiales necesarios durante el transcurso de la obra.

Una ventaja adicional de estos terrenos es la posibilidad de realizar los orificios mencionados previamente, lo que aumentaría su funcionalidad y adaptabilidad a las necesidades del proyecto. Esta disposición no solo optimizaría el espacio disponible, sino que también facilitaría la logística y el flujo de trabajo durante la ejecución de la obra.



Imagen 4. Ubicación de la zona de acopio y encofrado de cubípodos (Fuente: Google earth)

2.2.2.4. TRANSPORTE DE LOS BLOQUES

Los cubípodos se manejarán en el área de acopio mediante pinzas de presión dobles, ya que ofrecen mayor eficiencia y seguridad que las eslingas. Posteriormente, para el transporte de las

piezas, estas serán colocadas en camiones. Durante el traslado, los cubípodos se dispondrán sobre tablonos de madera para evitar que las protuberancias inferiores afecten a la estabilidad de la carga durante el trayecto. Esta medida asegura un transporte seguro y eficiente de las piezas desde la zona de acopio hasta el emplazamiento final de la obra.

2.2.2.5. COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES

La colocación de los cubípodos se realiza utilizando grúas equipadas con pinzas de alta presión. Una de las ventajas más destacadas de este método es que no se requiere una orientación específica de las piezas, lo que permite su colocación de forma aleatoria.

Esta característica ofrece dos beneficios principales: en primer lugar, se reduce significativamente el tiempo de colocación, agilizando todo el proceso. En segundo lugar, se mejora la eficiencia en el uso de maquinaria, ya que se optimiza el empleo de los equipos y se disminuye el tiempo de operación.

Estas ventajas se traducen en una mayor eficiencia en comparación con otros tipos de piezas que necesitan una orientación precisa. Como resultado, se pueden alcanzar rendimientos de entre 8 y 10 cubípodos colocados por hora, acelerando de manera considerable el avance de la construcción.

2.3. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL NUEVO CONTRADIQUE

2.3.1. COLOCACIÓN DE LA BARRERA DE CONTENCIÓN

Ubicadas al sur del puerto de Gandía, se encuentran praderas marinas, en particular una pradera de cymodocea nodosa, la cual está protegida en España. En la imagen siguiente se puede observar la ubicación de esta pradera.



Imagen 5. Localización de la pradera marina (Fuente: Visor de Cartografía GVA).

Para protegerla habrá que realizar una colocación de una barrera de contención. Ésta tiene como objetivo disminuir los efectos negativos sobre el ecosistema marino próximo a la obra. Esta barrera está formada por una cámara de aire en su parte superior y dos cámaras de agua en su parte inferior que funcionan como un lastre. Esta barrera deberá ser utilizada durante la retirada del antiguo contradique y la construcción del nuevo.



Imagen 6. Barrera de contención (Fuente: elastec.com)

2.3.2. RETIRADA DEL CONTRADIQUE EXISTENTE

La retirada del material existente en el contradique actual se considera un paso esencial para iniciar la construcción de la nueva estructura. El contradique actual, con una longitud de 430 metros, representa una extensión considerable que exige especial atención durante la fase de

demolición. La escollera a retirar se detalla en la siguiente tabla, donde se proporciona información específica sobre la cantidad de material involucrado en este proceso.

ESCOLLERA A RETIRAR	
Escollera 100-500 kg (m3)	20253
Escollera 1-2 t (m3)	10432
Escollera 5t (m3)	15803

Tabla 2. Escollera a retirar del contradique actual (Fuente: Elaboración propia).

La extracción se llevará a cabo utilizando una retroexcavadora convencional, con un rendimiento de 500 m³ por día. El material extraído será transportado a la zona de acopio mediante camiones.

2.3.3. CONSTRUCCIÓN DEL CONTRADIQUE

Una vez completado el desmantelamiento del contradique actual, se iniciará la construcción de la nueva estructura. La edificación del nuevo contradique se llevará a cabo principalmente mediante equipos terrestres, una decisión fundamentada en la reducción de costes que esta metodología supone.

Para garantizar la eficacia y seguridad de las operaciones, se ha establecido una anchura de sección media de trabajo de 15 metros. Esta dimensión permitirá el desplazamiento y maniobra adecuados de la maquinaria requerida para las diversas fases de construcción.

El proceso de construcción del contradique seguirá un orden específico, que consta de cuatro etapas principales:

1. Colocación de la berma de pie para el apoyo del manto principal.
2. Instalación del núcleo todo uno.
3. Disposición de la escollera filtro.
4. Construcción del manto principal.

Es importante destacar que el contradique se ha diseñado en tres tramos diferenciados. Cada uno de estos tramos requerirá materiales específicos, cuyas características y cantidades se detallarán a continuación, asegurando así una construcción óptima y adaptada a las necesidades particulares de cada sección.

MATERIALES TRAMO 1	
Núcleo: Todo-Uno Piedra 1-50 kg (m3)	17217
Filtro: Escollera 100 kg (m3)	1505
Berma de pie: Escollera 100 kg (m3)	344
Manto principal: Escollera 1,5 t (m3)	4345

Tabla 3. Materiales necesarios para el tramo 1 del nuevo contradique (Fuente: Elaboración propia).

MATERIALES TRAMO 2	
Núcleo: Todo-Uno Piedra 1-50 kg (m3)	32692
Filtro: Escollera 500 kg (m3)	4779
Berma de pie: Escollera 500 kg (m3)	1131
Manto principal: Escollera 5 t (m3)	12022

Tabla 4. Materiales necesarios para el tramo 2 del nuevo contradique (Fuente: Elaboración propia).

MATERIALES TRAMO 3	
Núcleo: Todo-Uno Piedra 1-50 kg (m3)	25675
Filtro: Escollera 500 kg (m3)	3145
Berma de pie: Escollera 500 kg (m3)	740
Manto principal: Cubípodo 6 t (ud)	1868

Tabla 5. Materiales necesarios para el tramo 3 del nuevo contradique (Fuente: Elaboración propia).

Colocación de la berma de pie para el apoyo del manto principal

La construcción del contradique comienza con la implementación de una berma de pie, un elemento crucial que proporcionará un soporte adecuado al manto principal. Esta berma, compuesta de escollera, juega un papel fundamental en la estabilidad de la estructura, ya que influye directamente en la colocación de la primera capa del manto y, por consiguiente, en el resto del manto.

Siguiendo el orden de construcción establecido, el primer paso será el vertido de la escollera para las bermas. Dado que la cota de coronación de estas se encuentra por debajo del nivel de bajamar, esta operación se realizará por vía marítima utilizando gánguiles. Para este propósito, se emplearán dos gánguiles, cada uno con una capacidad de 500 m³, lo que permitirá un proceso de vertido eficiente y controlado.

Instalación del núcleo todo uno

Simultáneamente a la construcción de la berma de pie, se llevará a cabo el vertido de material todo-uno. Este material formará una banquetta contra la socavación, cumpliendo una misión esencial: proteger tanto la berma de pie como, por extensión, el manto principal. Esta medida preventiva garantizará la integridad estructural del contradique a largo plazo, resistiendo los efectos erosivos del mar.

La secuencia cronológica para la colocación con medios terrestres sigue lo establecido en la “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”. A continuación, se describe el proceso para la colocación del núcleo y los mantos de protección:

1. Los camiones descargan el material del núcleo en la zona cercana al frente de avance, utilizando 8 dumpers con una capacidad de 6,5 m³ cada uno, que completan 10 ciclos de vertido al día.
2. Un tractor o pala cargadora empuja el material descargado, formando un talud inicial que generalmente varía entre 1,1:1 y 1,3:1.
3. Una retroexcavadora se utiliza para ajustar los taludes hasta alcanzar la pendiente especificada en el proyecto, de 1,5:1 para los tres tramos, dentro del alcance de la máquina.
4. Las partes del talud que no pueden ser ajustadas con la retroexcavadora se completan depositando el material con una bandeja accionada por una grúa o mediante el vertido desde un gánguil.
5. Una vez comprobada la correcta colocación del núcleo, se continúa de la misma manera para añadir las capas del manto.

Disposición de la escollera filtro.

Por lo que, tras realizar el vertido del núcleo, se colocarán las capas intermedias, en este caso, los filtros. La escollera retirada del antiguo contradique será recolocada con el objetivo de obtener el talud en las zonas que no se ha conseguido. Además, con este procedimiento se evita el uso de nuevas piezas optimizando tiempos de transportes

La instalación de la escollera se llevará a cabo mediante el uso de una grúa especializada, equipada con un sistema de pinzas de tres brazos, comúnmente conocido como “Técnica pulpo”.

Este dispositivo versátil tiene la capacidad de manipular bloques de escollera en un amplio rango de pesos, desde los 500 kilogramos hasta las 10 toneladas.

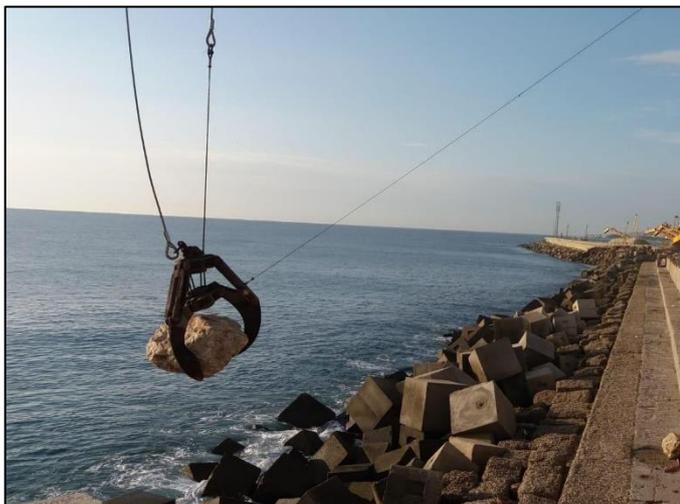


Imagen 7. Grúa pulpo de tres brazos colocando escollera (Fuente: gruasnelson.com)

En cuanto a la eficiencia del proceso, se ha calculado que la tasa de colocación de estas capas de escollera alcanzará aproximadamente las 1000 toneladas por día.

Construcción del manto principal.

Tras completar la construcción del núcleo y las capas intermedias, se procede a la instalación del manto principal. Es importante destacar que la composición de este manto varía según el tramo del contradique, como se detalla en las tablas 3, 4 y 5 del proyecto.

Para los tramos 1 y 2, donde el peso de la escollera no excede las 10 toneladas, se empleará nuevamente el método de colocación mediante grúas equipadas con el sistema de "Técnica Pulpo". Este enfoque, previamente mencionado, permite una manipulación precisa y eficiente de los bloques de escollera. La eficiencia de este proceso se mantiene constante, con una capacidad de colocación estimada en 1000 toneladas diarias.

Mientras tanto, en el tramo 3 los cubípodos serán transportados al sitio de la obra desde el área de almacenamiento utilizando una góndola. Este transporte se realizará por la parte superior de la estructura, a una altura suficiente para minimizar el riesgo de sobrepaso durante la construcción.

La góndola se desplazará hasta la ubicación de la grúa, donde los cubípodos serán recogidos con pinzas de doble presión y colocados en coordenadas predefinidas X-Y.

Luego, las pinzas descenderán suavemente hasta que el cubípedo toque el talud, momento en el cual se abrirán para liberar la pieza, repitiendo así el ciclo. La colocación comenzará con la fila inferior de piezas, que se apoyará en la berma de pie, y continuará con las filas superiores, que se apoyarán en las inferiores.



Imagen 8. Colocación de cubípodos mediante pinzas de presión doble (Fuente:cubipod.com)

Para este proceso, solo se requieren dos operarios: uno para manejar la grúa y otro para asegurar que las pinzas se ajusten correctamente al cubípedo antes de ser levantado. El ciclo de colocación puede durar entre 4 y 8 minutos, dependiendo de las condiciones meteorológicas y logísticas.

2.3.4. EJECUCIÓN DEL ESPALDÓN

El espaldón será la última parte del contradique en construirse, ya que, al ser un elemento rígido, su construcción comenzará cuando la mayor parte de los asentamientos en el dique ya se hayan producido.

En este caso, el espaldón se construirá con hormigón HM-30/P/20/IIIb+Qb, adecuado para estructuras marinas situadas por encima del nivel de pleamar. La clasificación IIIa corresponde a su resistencia, mientras que la categoría de exposición Qb se debe a que estará en contacto directo con agua de mar.

El hormigón se aplicará mediante vertido directo desde un camión hormigonera, lo cual ofrece dos ventajas principales: reduce el tiempo de ejecución de la obra y disminuye los costos asociados al proceso de hormigonado. Esta simplificación del método de vertido mejora la eficiencia general del proyecto.

Para la construcción del espaldón del nuevo contradique se utilizarán carros de encofrado, una técnica que resulta especialmente útil en este tipo de estructuras. Este método permite un avance controlado y sistemático, asegurando una mayor calidad y uniformidad en el resultado final. Los carros de encofrado tendrán una longitud de 8 metros, y se emplearán dos para construir el espaldón, logrando un avance diario de 16 metros. Esta limitación en la longitud busca mantener un equilibrio entre la eficiencia del proceso constructivo y la manejabilidad del equipo, además de facilitar el control de la calidad del hormigonado y permitir ajustes durante la ejecución de la obra.



Imagen 9. Encofrado del espaldón (Fuente: rubricaingenieria.com)

Una vez transcurrido un período de tres a cuatro días posteriores al hormigonado y una vez retirado el encofrado, comenzará la etapa final de construcción de los mantos de protección. Esta fase implica la colocación estratégica de escollera o cubípodos, dependiendo del tramo específico, que se asentarán contra el espaldón, culminando así la robusta estructura de defensa marítima.

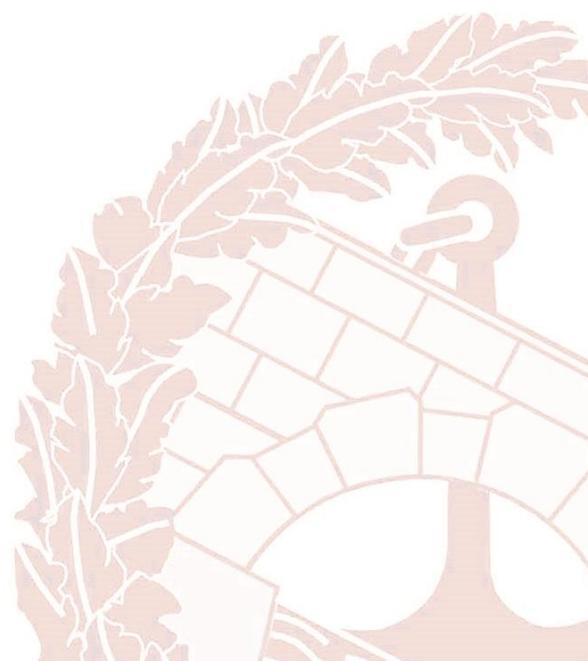


UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 11: VALORACIÓN ECONÓMICA



Índice

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	2
2.	<i>MEDICIONES</i>	3
3.	<i>PRECIOS UNITARIOS</i>	6
4.	<i>VALORACIÓN ECONÓMICA</i>	9
5.	<i>PRESUPUESTO BASE DE LA LICITACIÓN</i>	12

1. INTRODUCCIÓN

Este anexo tiene como propósito estimar el costo aproximado de la construcción del nuevo contradique en el Puerto de Gandía. Para elaborar esta evaluación económica, se han considerado los precios utilizados en proyectos similares y bases de datos. Es importante señalar que estas cifras podrían no estar completamente actualizadas conforme a las condiciones económicas actuales, dado que se basan en información preexistente.

2. MEDICIONES

CAPÍTULO Núm: 1 ACTUACIONES PREVIAS				
Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD
1	PTO01	Ud.	REPLANTEO INICIAL DE LAS OBRAS Partida alzada de replanteo inicial de las obras, incluso toma de datos y procesado de datos.	1
2	PTO02	Ud.	PREPARACIÓN DE INSTALACIONES AXUXILIARES Partida alzada de puesta en obra de las instalaciones necesarias.	1
CAPÍTULO Núm 2: DEMOLICIONES				
Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD
3	PTO03	Ud.	DEMOLICIÓN DE LAS OBRAS DE ABRIGO EXISTENTE Partida alzada de demolición del contradique de obra de abrigo existente.	1
4	PTO04	m3	RETIRADA DE BLOQUES DE ESCOLLERA Retirada de bloques de escollera del actual contradique mediante medios mecánicos, incluido transporte y descarga de acopio de obra para posterior colocación de nuevo dique.	46488
5	PTO05	m3	RECUPERACIÓN DEL MATERIAL DEL NÚCLEO DEL CONTRADIQUE Recuperación del material del núcleo del contradique existente mediante medios mecánicos, incluso carga, transporte y descarga en acopio de obra para posterior colocación en rellenos.	35260
CAPÍTULO Núm: 3 OBRAS DE ABRIGO				
Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD
6	PTO06	m3	RELLENO TODO-UNO Suministro y colocación de material granular "todo uno" de entre 5-50 kg de peso colocado en núcleo de dique de escollera mediante medios mecánicos. Incluso adquisición, carga, transporte, vertido, extensión, nivelación, perfilado y compactación según planos	40323
7	PTO07	t	ESCOLLERA 0,1 t Escollera de 0,1 t en capa de filtro y berma de pie para el tramo 1 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	4807

8	PTO08	t	ESCOLLERA 0,5 t de 0,5 t en capa de filtro y berma de pie para el tramo 2 y 3 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	Escollera	25465
9	PTO09	t	ESCOLLERA 1,5 t de 1,5 t en manto principal para el tramo 1 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	Escollera	11298
10	PTO10	t	ESCOLLERA 5 t 5 t en manto principal para el tramo 2 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	Escollera de	31258
11	PTO11	m3	HORMIGÓN EN MASA PARA LA EJECUCIÓN DE CUBÍPODOS DE 6 t en masa HM-30 para la creación de bloques de 6 T para formación del manto principal del tramo 3 del contradique. Incluso acopio y operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado en su posición prefijada en el manto.	Hormigón	4873,04
12	PTO12	m3	HORMIGÓN EN MASA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESPALDÓN masa HM – 30/P/20/IIIb+Qb para la formación del espaldón de coronación del contradique. Incluso fabricación en obra, transporte, vertido, vibrado y curado	Hormigón en	15083
13	PTO13	m2	ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para el espaldón de coronación del contradique. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante		7558

CAPÍTULO Núm: 4 GESTIÓN DE RESIDUOS

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD
14	PTO14	Ud	GESTIÓN DE RESIDUOS Clasificación y recogida selectiva de residuos de construcción y demolición de carácter no peligroso mediante medios manuales y mecánicos de los residuos y su depósito en la zona principal de almacenamiento de residuos de la obra, así como carga y transporte a planta de valorización por transportista autorizado (por la Consejería de Medio Ambiente), a una distancia mayor de 10 km. y menor de 20 km., considerando ida y vuelta, en camiones de hasta 20 t. de peso, cargados con pala cargadora incluso canon de entrada a planta, sin medidas de protección colectivas.	1

CAPÍTULO Núm 5: ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD
15	PTO15	Ud	CONTROL DE CALIDAD Partida alzada para el control de calidad.	1
16	PTO16	Ud	SEGUIMIENTO Y CONTROL Partida alzada de las operaciones de seguimiento y control.	1
17	PTO17	Ud	REMATES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS Partida alzada de las operaciones de remate.	1

CAPÍTULO Núm 6: SEGURIDAD Y SALUD

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD
18	PTO18	Ud	SEGURIDAD Y SALUD Seguridad y salud.	1

3. PRECIOS UNITARIOS

CAPÍTULO Núm: 1 ACTUACIONES PREVIAS

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	PRECIO
1	PTO01	Ud.	REPLANTEO INICIAL DE LAS OBRAS Partida alzada de replanteo inicial de las obras, incluso toma de datos y procesado de datos.	60000
2	PTO02	Ud.	PREPARACIÓN DE INSTALACIONES AXUXILIARES Partida alzada de puesta en obra de las instalaciones necesarias.	40000

CAPÍTULO Núm 2: DEMOLICIONES

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	PRECIO
3	PTO03	Ud.	DEMOLICIÓN DE LAS OBRAS DE ABRIGO EXISTENTE Partida alzada de demolición del contradique de obra de abrigo existente.	1
4	PTO04	m3	RETIRADA DE BLOQUES DE ESCOLLERA Retirada de bloques de escollera del actual contradique mediante medios mecánicos, incluido transporte y descarga de acopio de obra para posterior colocación de nuevo dique.	2,95
5	PTO05	m3	RECUPERACIÓN DEL MATERIAL DEL NÚCLEO DEL CONTRADIQUE Recuperación del material del núcleo del contradique existente mediante medios mecánicos, incluso carga, transporte y descarga en acopio de obra para posterior colocación en rellenos.	3,15

CAPÍTULO Núm: 3 OBRAS DE ABRIGO

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	PRECIO
6	PTO06	m3	RELLENO TODO-UNO Suministro y colocación de material granular "todo uno" de entre 5-50 kg de peso colocado en núcleo de dique de escollera mediante medios mecánicos. Incluso adquisición, carga, transporte, vertido, extensión, nivelación, perfilado y compactación según planos	6,86
7	PTO07	t	ESCOLLERA 0,1 t Escollera de 0,1 t en capa de filtro y berma de pie para el tramo 1 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6t/m3	20,18

8	PTO08	t	ESCOLLERA 0,5 t de 0,5 t en capa de filtro y berma de pie para el tramo 2 y 3 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	Escollera	20,84
9	PTO09	t	ESCOLLERA 1,5 t de 1,5 t en manto principal para el tramo 1 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	Escollera	20,25
10	PTO10	t	ESCOLLERA 5 t 5 t en manto principal para el tramo 2 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	Escollera de	21,36
11	PTO11	m3	HORMIGÓN EN MASA PARA LA EJECUCIÓN DE CUBÍPODOS DE 6 t en masa HM-30 para la creación de bloques de 6 T para formación del manto principal del tramo 3 del contradique. Incluso acopio y operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado en su posición prefijada en el manto.	Hormigón	315
12	PTO12	m3	HORMIGÓN EN MASA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESPALDÓN masa HM – 30/P/20/IIIb+Qb para la formación del espaldón de coronación del contradique. Incluso fabricación en obra, transporte, vertido, vibrado y curado	Hormigón en	86,55
13	PTO13	m2	ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para el espaldón de coronación del contradique. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante		23,94

CAPÍTULO Núm: 4 GESTIÓN DE RESIDUOS

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	PRECIO
14	PTO14	Ud	GESTIÓN DE RESIDUOS Clasificación y recogida selectiva de residuos de construcción y demolición de carácter no peligroso mediante medios manuales y mecánicos de los residuos y su depósito en la zona principal de almacenamiento de residuos de la obra, así como carga y transporte a planta de valorización por transportista autorizado (por la Consejería de Medio Ambiente), a una distancia mayor de 10 km. y menor de 20 km., considerando ida y vuelta, en camiones de hasta 20 t. de peso, cargados con pala cargadora incluso canon de entrada a planta, sin medidas de protección colectivas.	50000

CAPÍTULO Núm 5: ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	PRECIO
15	PTO15	Ud	CONTROL DE CALIDAD Partida alzada para el control de calidad.	55000
16	PTO16	Ud	SEGUIMIENTO Y CONTROL Partida alzada de las operaciones de seguimiento y control.	60000
17	PTO17	Ud	REMATES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS Partida alzada de las operaciones de remate.	55000

CAPÍTULO Núm 6: SEGURIDAD Y SALUD

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	PRECIO
18	PTO18	Ud	SEGURIDAD Y SALUD Seguridad y salud.	115000

4. VALORACIÓN ECONÓMICA

CAPÍTULO Núm: 1 ACTUACIONES PREVIAS

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	PTO01	Ud.	REPLANTEO INICIAL DE LAS OBRAS Partida alzada de replanteo inicial de las obras, incluso toma de datos y procesado de datos.	1	60000	60.000,00 €
2	PTO02	Ud.	PREPARACIÓN DE INSTALACIONES AXUXILIARES Partida alzada de puesta en obra de las instalaciones necesarias.	1	40000	40.000,00 €

CAPÍTULO Núm 2: DEMOLICIONES

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
3	PTO03	Ud.	DEMOLICIÓN DE LAS OBRAS DE ABRIGO EXISTENTE Partida alzada de demolición del contradique de obra de abrigo existente.	1	1	1,00 €
4	PTO04	m3	RETIRADA DE BLOQUES DE ESCOLLERA Retirada de bloques de escollera del actual contradique mediante medios mecánicos, incluido transporte y descarga de acopio de obra para posterior colocación de nuevo dique.	46488	2,95	137.139,6 €
5	PTO05	m3	RECUPERACIÓN DEL MATERIAL DEL NÚCLEO DEL CONTRADIQUE Recuperación del material del núcleo del contradique existente mediante medios mecánicos, incluso carga, transporte y descarga en acopio de obra para posterior colocación en rellenos.	35260	3,15	111.069,0 €

CAPÍTULO Núm: 3 OBRAS DE ABRIGO

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
6	PTO06	m3	RELLENO TODO-UNO Suministro y colocación de material granular "todo uno" de entre 5-50 kg de peso colocado en núcleo de dique de escollera mediante medios mecánicos. Incluso adquisición, carga, transporte, vertido, extensión, nivelación, perfilado y compactación según planos	40323	6,86	276.615,78 €
7	PTO07	t	ESCOLLERA 0,1 t Escollera de 0,1 t en capa de filtro y berma de pie para el tramo 1 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	4807	20,18	97.005,26 €

8 PTO08	t	ESCOLLERA 0,5 t de 0,5 t en capa de filtro y berma de pie para el tramo 2 y 3 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	Escollera	25465	20,84	530.690,60 €
9 PTO09	t	ESCOLLERA 1,5 t de 1,5 t en manto principal para el tramo 1 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	Escollera	11298	20,25	228.784,50 €
10 PTO10	t	ESCOLLERA 5 t 5 t en manto principal para el tramo 2 del contradique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad: 2,6 t/m3	Escollera de	31258	21,36	667.670,88 €
11 PTO11	m3	HORMIGÓN EN MASA PARA LA EJECUCIÓN DE CUBÍPODOS DE 6 t en masa HM-30 para la creación de bloques de 6 T para formación del manto principal del tramo 3 del contradique. Incluso acopio y operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado en su posición prefijada en el manto.	Hormigón	4873,04	315	1.535.007,60 €
12 PTO12	m3	HORMIGÓN EN MASA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESPALDÓN masa HM-30/P/20/IIIb+Qb para la formación del espaldón de coronación del contradique. Incluso fabricación en obra, transporte, vertido, vibrado y curado	Hormigón en	15083	86,55	1.305.433,65 €
13 PTO13	m2	ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para el espaldón de coronación del contradique. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante		7558	23,94	180.938,52 €

CAPÍTULO Núm: 4 GESTIÓN DE RESIDUOS

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
14 PTO14		Ud	GESTIÓN DE RESIDUOS Clasificación y recogida selectiva de residuos de construcción y demolición de carácter no peligroso mediante medios manuales y mecánicos de los residuos y su depósito en la zona principal de almacenamiento de residuos de la obra, así como carga y transporte a planta de valorización por transportista autorizado (por la Consejería de Medio Ambiente), a una distancia mayor de 10 km. y menor de 20 km., considerando ida y vuelta, en camiones de hasta 20 t. de peso, cargados con pala cargadora incluso canon de entrada a planta, sin medidas de protección colectivas.	1	50000	50.000,00 €

CAPÍTULO Núm 5: ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
15	PTO15	Ud	CONTROL DE CALIDAD Partida alzada para el control de calidad.	1	55000	55.000,00 €
16	PTO16	Ud	SEGUIMIENTO Y CONTROL Partida alzada de las operaciones de seguimiento y control.	1	60000	60.000,00 €
17	PTO17	Ud	REMATES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS Partida alzada de las operaciones de remate.	1	55000	55.000,00 €

CAPÍTULO Núm 6: SEGURIDAD Y SALUD

Núm.	CODIGO	Ud.	DENOMINACION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
18	PTO18	Ud	SEGURIDAD Y SALUD Seguridad y salud.	1	115000	115.000,00 €

5. PRESUPUESTO BASE DE LA LICITACIÓN

PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL

1. ACTUACIONES PREVIAS.....	100.000,00 €
2. DEMOLICIONES.....	248.209,60 €
3. OBRAS DE ABRIGO.....	4.822.146,79 €
4. GESTIÓN DE RESIDUOS.....	50.000,00 €
5. ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS.....	170.000,00 €
6. SEGURIDAD Y SALUD.....	115.000,00 €
TOTAL.....	5.455.356,39 €

GASTOS GENERALES (13%) 709.196,33 €

BENEFICIO INDUSTRIAL (6%) 327.321,38 €

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (SIN IVA) 6.491.874,10 €

IVA (21%) 1.363.293,56 €

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN 7.855.167,66 €

Asciende la presente licitación a la expresada cantidad de SIETE MILLONES OCHOCIENTOS CINCUENTA Y CINCO MIL CIENTO SESENTA Y SIETE euros CON SESENTA Y SEIS céntimos.

Firmado por Pascual Morant Alegre

Valencia a 4 de septiembre de 2024





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 12: PROGRAMA DE TRABAJOS



Índice

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	2
2.	<i>PROGRAMA DE TRABAJOS</i>	3

1. INTRODUCCIÓN

Este anejo se centra en desarrollar la programación de trabajos para la ejecución de la obra, utilizando un diagrama de barras conocido como diagrama de Gantt. Este diagrama ha sido realizado con el programa Microsoft Project, que es una herramienta especializada para la gestión de proyectos, permitiendo la planificación, organización y supervisión de tareas de manera eficiente.

2. PROGRAMA DE TRABAJOS

El propósito principal de cualquier programa de trabajos es coordinar todas las actividades para minimizar tanto el tiempo de ejecución como los costos de la obra. Para elaborar una programación efectiva, es fundamental listar todas las actividades que, en conjunto, constituyen la ejecución completa del proyecto. Además, se deben considerar los rendimientos humanos y de maquinaria para determinar la duración de cada actividad.

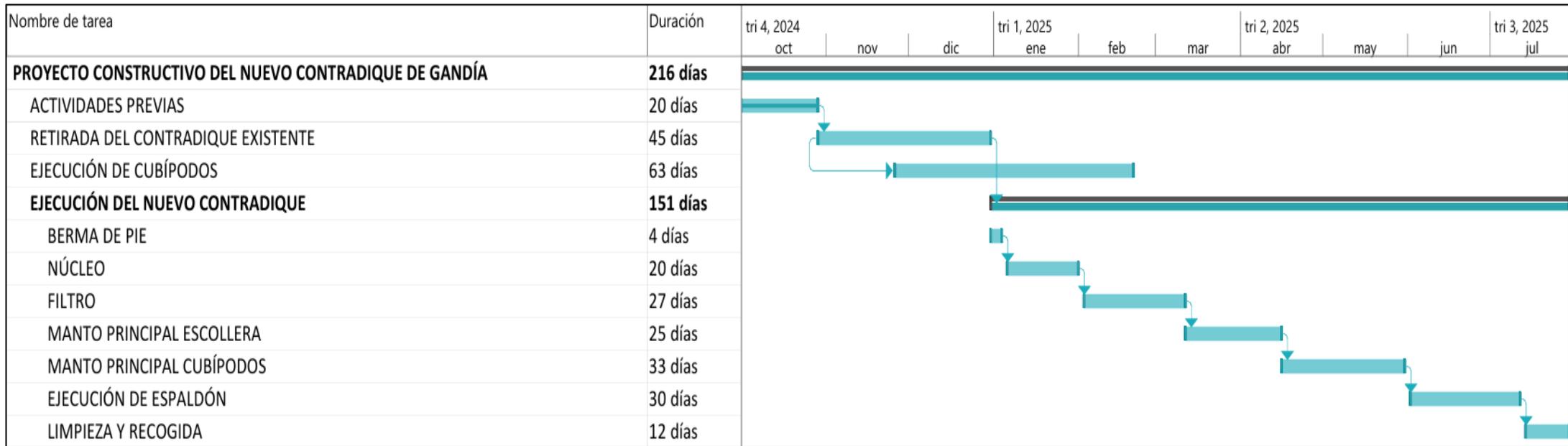
En este proyecto, los rendimientos se han obtenido consultando proyectos similares y utilizando información disponible en internet. Cabe destacar que en el "Anejo nº10: Proceso constructivo" se mencionan algunos de los rendimientos empleados.

El programa de trabajos se ha desarrollado en base a las siguientes actividades:

1. ACTIVIDADES PREVIAS
2. RETIRADA DEL CONTRADIQUE EXISTENTE
3. EJECUCIÓN DE CUBÍPODOS
4. EJECUCIÓN DEL NUEVO CONTRADIQUE
 - 4.1. BERMA DE PIE
 - 4.2. NÚCLEO
 - 4.3. MANTO PRINCIPAL DE ESCOLLERA
 - 4.4. MANTO PRINCIPAL DE CUBÍPODOS
 - 4.5. EJECUCIÓN DE ESPALDÓN
 - 4.6. LIMPIEZA Y RECOGIDA

A continuación, se presenta el programa de trabajos, que establece un plazo de ejecución de la obra de 216 días. Este documento es fundamental para la planificación y seguimiento del proyecto, ya que permite identificar de manera clara las actividades a realizar y su respectiva duración.

Para facilitar su comprensión, se explican las columnas del programa: la primera columna muestra el nombre de cada actividad, mientras que la segunda columna indica el número de días requeridos para completar cada tarea. Este formato proporciona una visualización concisa y efectiva de la programación, lo que contribuye a una gestión más eficiente del tiempo de ejecución.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO 13: ODS (OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE)



Índice

1.	<i>DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE</i>	3
2.	<i>RELACIÓN DE LOS OBJETIVOS CON EL TFG</i>	4
3.	<i>ODS CON GRADO DE RELACIÓN ALTO</i>	4

Índice de Imágenes

Imagen 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (Fuente: Naciones Unidas). 3

Índice de Tablas

Tabla 1. Relación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el Trabajo Fin de Grado (Fuente: Elaboración propia).
..... 4

1. DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de 17 objetivos globales adoptados por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015, como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Estos objetivos buscan abordar los principales desafíos mundiales, incluyendo la pobreza, la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental, la paz y la justicia.

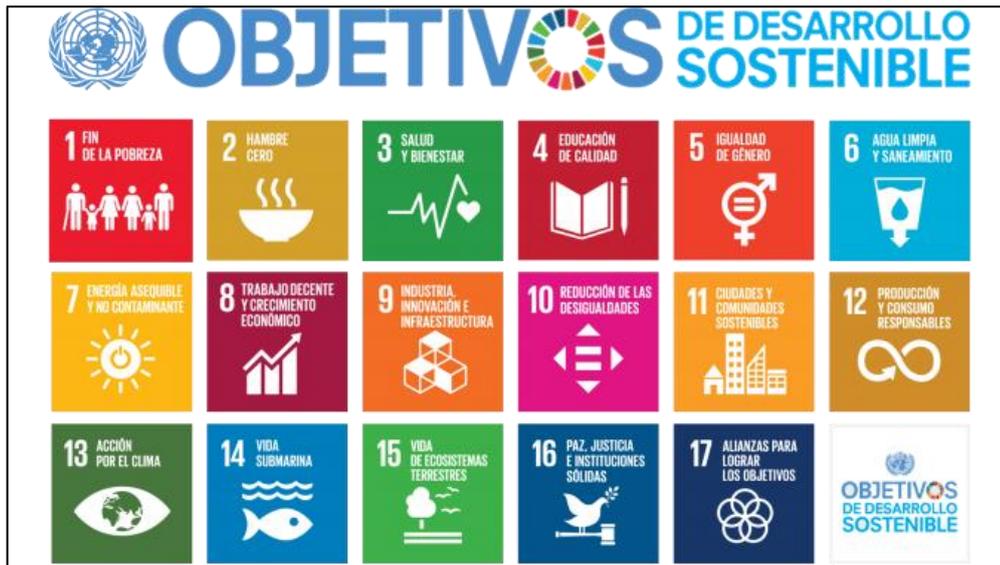


Imagen 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (Fuente: Naciones Unidas).

2. RELACIÓN DE LOS OBJETIVOS CON EL TFG

Para establecer una relación clara y comprensible entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el Trabajo de Fin de Grado (TFG) titulado "Estudio de soluciones para el diseño y construcción del nuevo contradique de Gandía (Valencia)", se ha creado una tabla detallada.

Esta tabla relaciona cada uno de los 17 ODS con aspectos específicos del proyecto, destacando cómo cada objetivo se integra y se refleja en las soluciones propuestas para el contradique. Este trabajo no solo aborda los aspectos técnicos de la construcción, sino que también considera las implicaciones ambientales y sociales, alineándose con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Este enfoque permite que el proyecto contribuya a la sostenibilidad, promoviendo prácticas constructivas que respeten el entorno y fomenten alianzas para lograr los objetivos globales.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	NO CORRESPONDE	ALTO	MEDIO	BAJO
1. Fin de la pobreza				X
2. Hambre cero	X			
3. Salud y Bienestar	X			
4. Educación de calidad	X			
5. Igualdad de género	X			
6. Agua limpia y Saneamiento				X
7. Energía asequible y no contaminante			X	
8. Trabajo decente y crecimiento económico			X	
9. Industria, Innovación e infraestructura		X		
10. Reducción de las desigualdades				X
11. Ciudades y Comunidades Sostenibles		X		
12. Producción y Consumo responsables				X
13. Acción por el clima		X		
14. Vida submarina		X		
15. Vida de ecosistemas terrestres				X
16. Paz, Justicia e Instituciones sólidas	X			
17. Alianzas para lograr los objetivos	X			

Tabla 1. Relación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el Trabajo Fin de Grado (Fuente: Elaboración propia).

3. ODS CON GRADO DE RELACIÓN ALTO

INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA

Construir puertos más fuertes y sostenibles es esencial para enfrentar los problemas que trae el cambio climático, especialmente la subida del nivel del mar que se espera para el año 2100.

Mejorar estas infraestructuras, en este proyecto el nuevo contradique, no solo hace que los puertos funcionen mejor y sean más seguros en el momento, sino que también los prepara para lo que pueda venir en el futuro. Esto implica invertir en cambios importantes y pensar a largo plazo, en lugar de buscar soluciones rápidas. Al fortalecer los puertos, ayudamos a las comunidades costeras a ser más resistentes y aseguramos que las actividades económicas relacionadas con el mar puedan continuar, mostrando así que adaptarse de manera proactiva puede reducir los riesgos del cambio climático y promover un desarrollo más sostenible.

CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES

La adaptación del puerto de Gandía propone una solución definitiva que proteja tanto al puerto como a la ciudad de Gandía de posibles catástrofes. Este proyecto podría ser el primer paso para convertir a la localidad en un lugar con emisiones cero, minimizando su impacto en el medio marino.

ACCIÓN POR EL CLIMA

El cambio climático es un problema grave que debemos abordar con urgencia. Este Trabajo de Fin de Grado explora qué es el cambio climático, la probabilidad de que ocurra y cómo podría afectarnos. El objetivo es que todos comprendamos que el clima está cambiando y que, si no actuamos pronto, podríamos enfrentar consecuencias muy serias. Es crucial establecer nuevas leyes para combatir este problema, pero lo más importante es reducir la contaminación y las emisiones de CO₂ para frenar el calentamiento global. Además, la construcción de un contradique podría ser una forma efectiva de adaptarnos a los cambios ya en marcha, como el aumento del nivel del mar y la intensificación de las tormentas. Estas estructuras pueden proteger nuestras costas y hacer que nuestras comunidades sean más seguras ante los efectos del cambio climático.

VIDA SUBMARINA

La construcción de un nuevo contradique en la costa puede generar vertidos y polvo en la superficie marina. Por ello, durante el proceso constructivo se ha prestado especial atención al impacto en el medio marino, especialmente en las praderas submarinas situadas al sur del Puerto de Gandía. La instalación de una barrera de protección será crucial para resguardar esta zona y mitigar posibles daños.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

DOCUMENTO Nº2: PLANOS



Índice de Planos

PLANO 1: ENCUADRE GEOGRÁFICO

PLANO 2: TOPOGRAFÍA

PLANO 3: BATIMETRÍA

PLANO 4: ALTERNATIVA 1: SECCIÓN DEL TRAMO 1

PLANO 5: ALTERNATIVA 1: SECCIÓN DEL TRAMO 2

PLANO 6: ALTERNATIVA 1: SECCIÓN DEL TRAMO 3

PLANO 7: ALTERNATIVA 2: SECCIÓN DEL TRAMO 2

PLANO 8: ALTERNATIVA 2: SECCIÓN DEL TRAMO 3

PLANO 9: ALTERNATIVA 3: SECCIÓN DEL TRAMO 2

PLANO 10: ALTERNATIVA 3: SECCIÓN DEL TRAMO 3

PLANO 11: ALTERNATIVA 4: SECCIÓN DEL TRAMO 2

PLANO 12: ALTERNATIVA 4: SECCIÓN DEL TRAMO 3

PLANO 13: SOLUCIÓN ADOPTADA: SECCIÓN DEL TRAMO 1

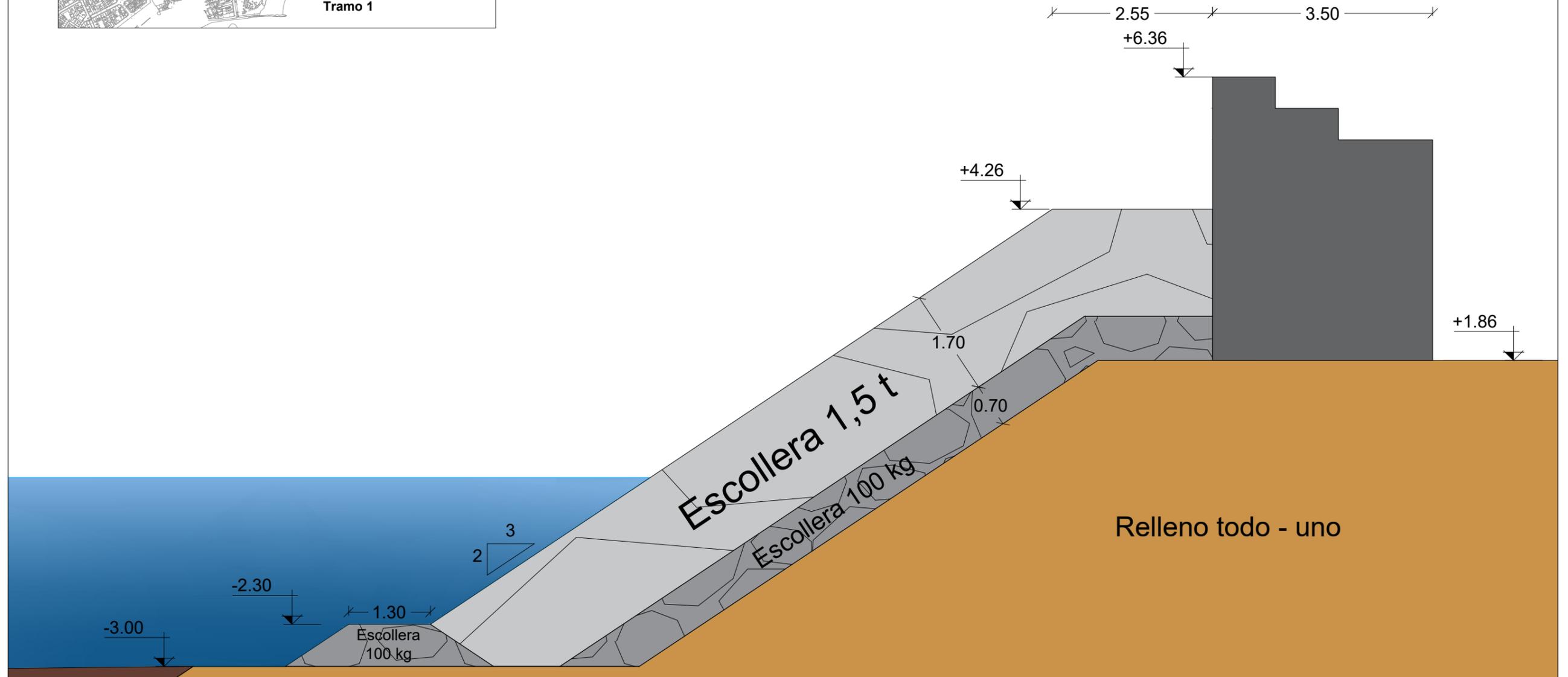
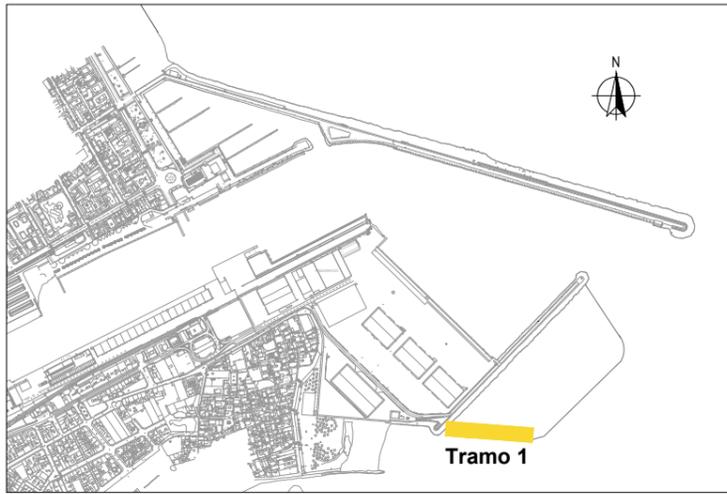
PLANO 14: SOLUCIÓN ADOPTADA: SECCIÓN DEL TRAMO 2

PLANO 15: SOLUCIÓN ADOPTADA: SECCIÓN DEL TRAMO 3









UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

AUTOR Y FIRMA:
PASCUAL MORANT ALEGRE
PMA

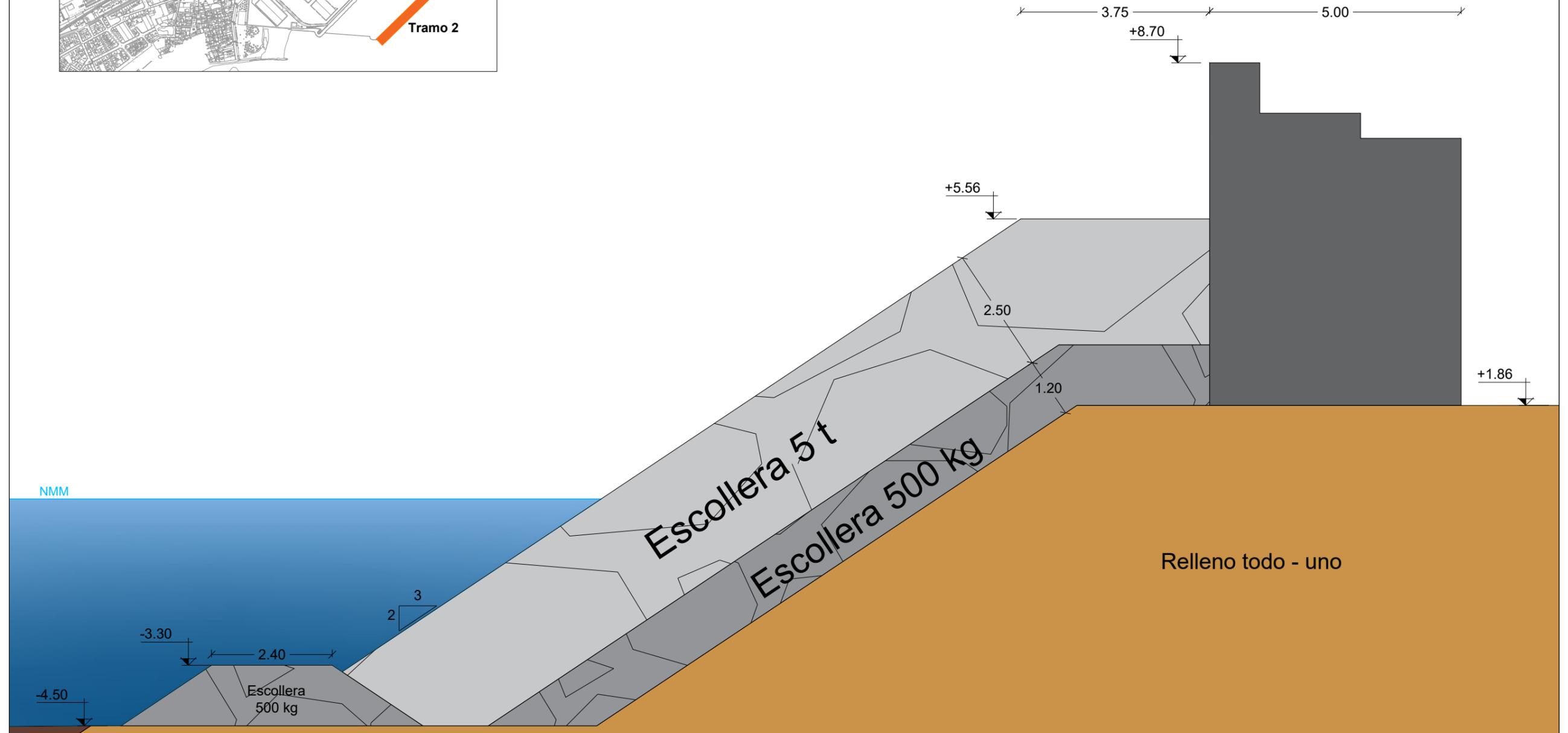
TÍTULO DEL PROYECTO:
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDIA (VALÈNCIA).

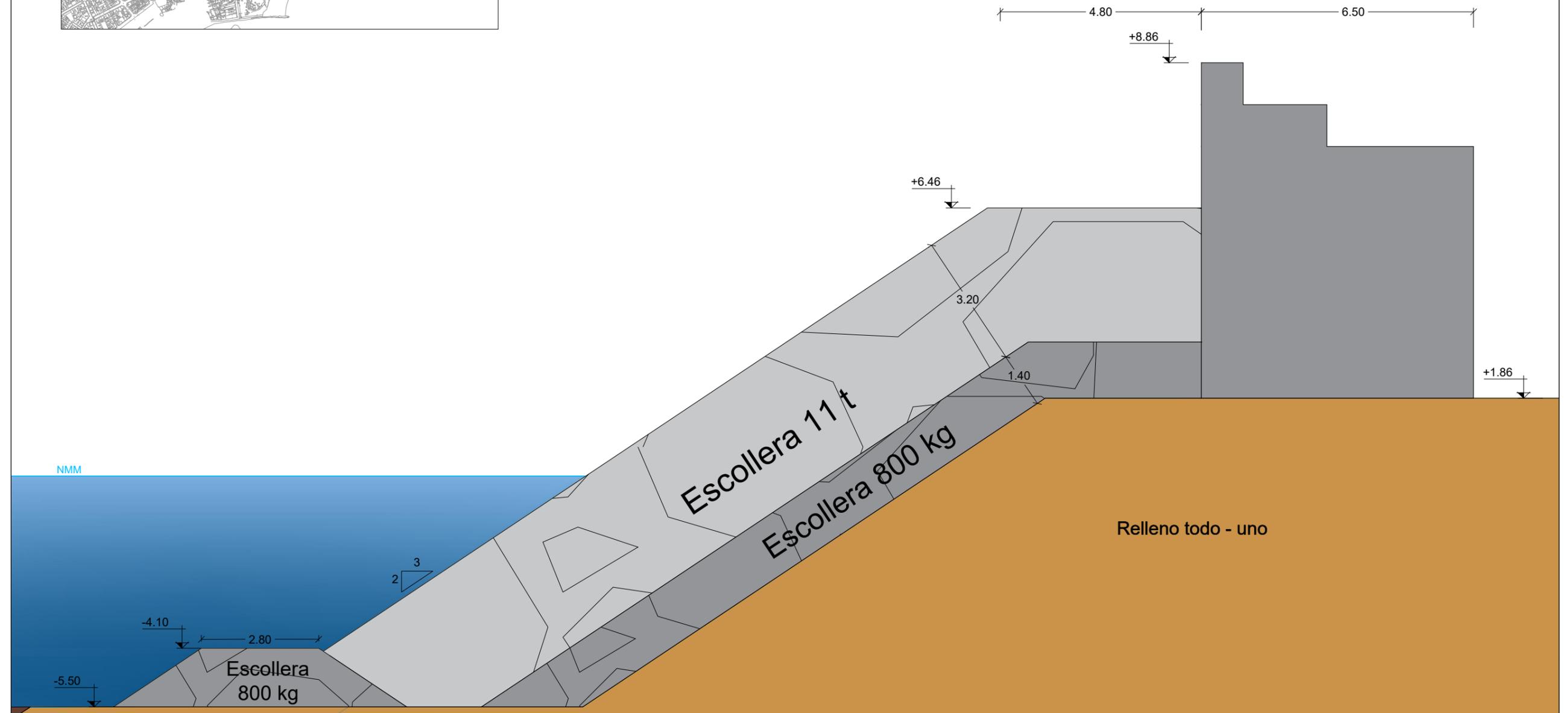
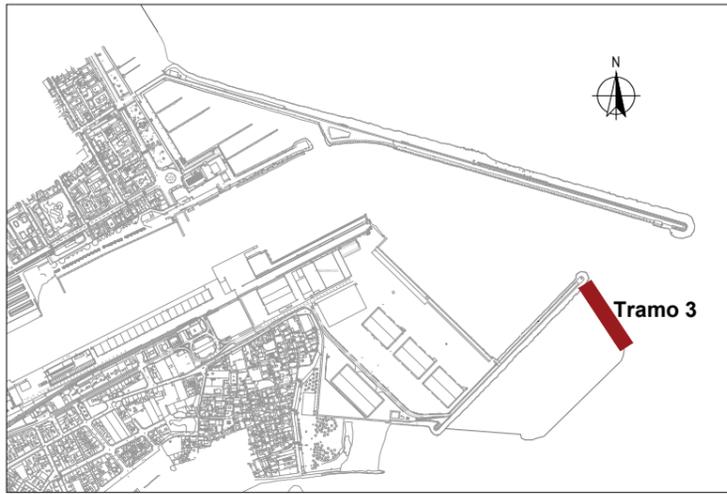
ESCALA:
1/70

FECHA:
SEPTIEMBRE 2024

TÍTULO DEL PLANO:
ALTERNATIVA 1: SECCIÓN DEL TRAMO 1

Nº PLANO:
4
HOJA:
1 de 1





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

AUTOR Y FIRMA:
PASCUAL MORANT ALEGRE
[Signature]

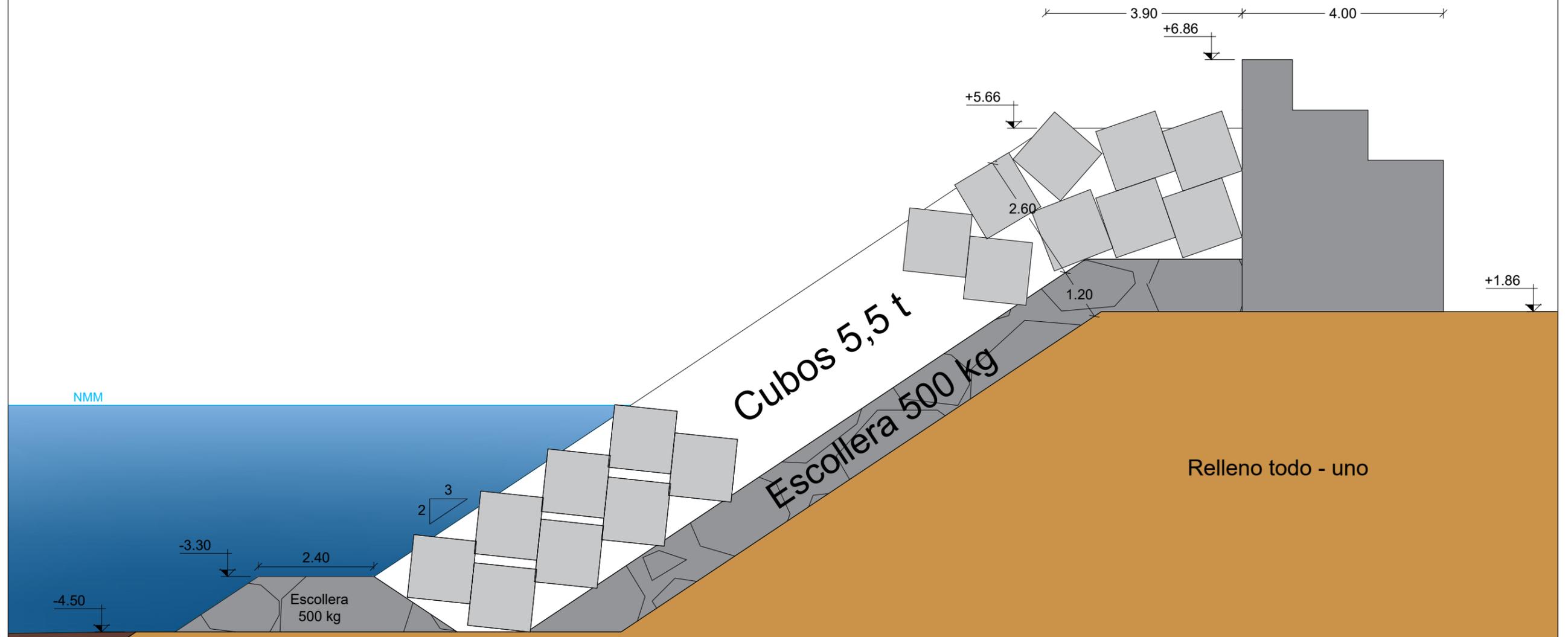
TÍTULO DEL PROYECTO:
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDIA (VALÈNCIA).

ESCALA:
1/100

FECHA:
SEPTIEMBRE 2024

TÍTULO DEL PLANO:
ALTERNATIVA 1: SECCIÓN DEL TRAMO 3

Nº PLANO:
6
HOJA:
1 de 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

AUTOR Y FIRMA:
PASCUAL MORANT ALEGRE

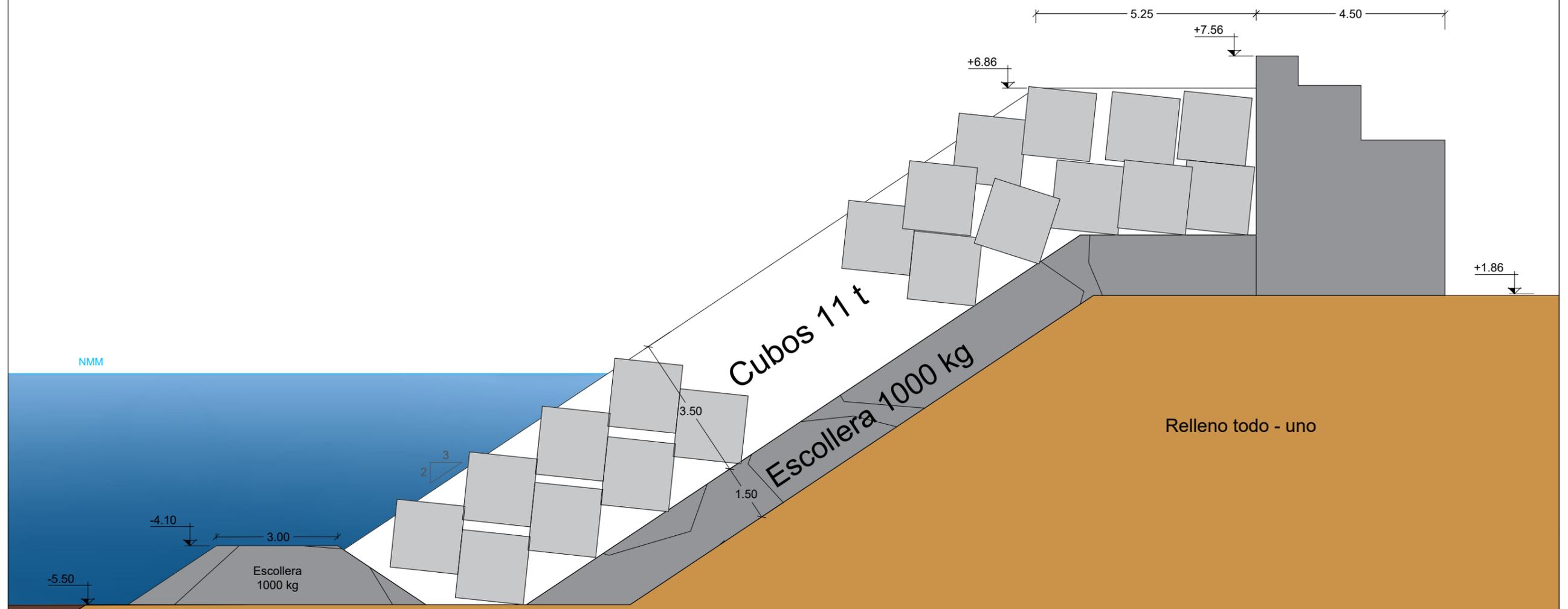
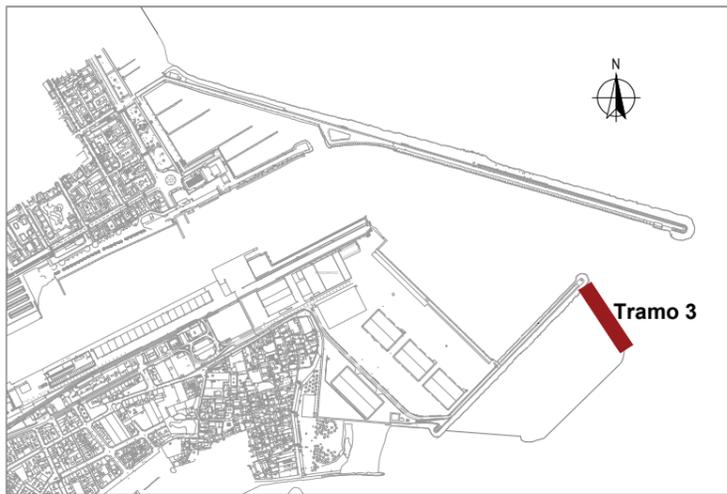
TÍTULO DEL PROYECTO:
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDIA (VALÈNCIA).

ESCALA:
1/85

FECHA:
SEPTIEMBRE 2024

TÍTULO DEL PLANO:
ALTERNATIVA 2: SECCIÓN DEL TRAMO 2

Nº PLANO:
7
HOJA:
1 de 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

AUTOR Y FIRMA:
PASCUAL MORANT ALEGRE

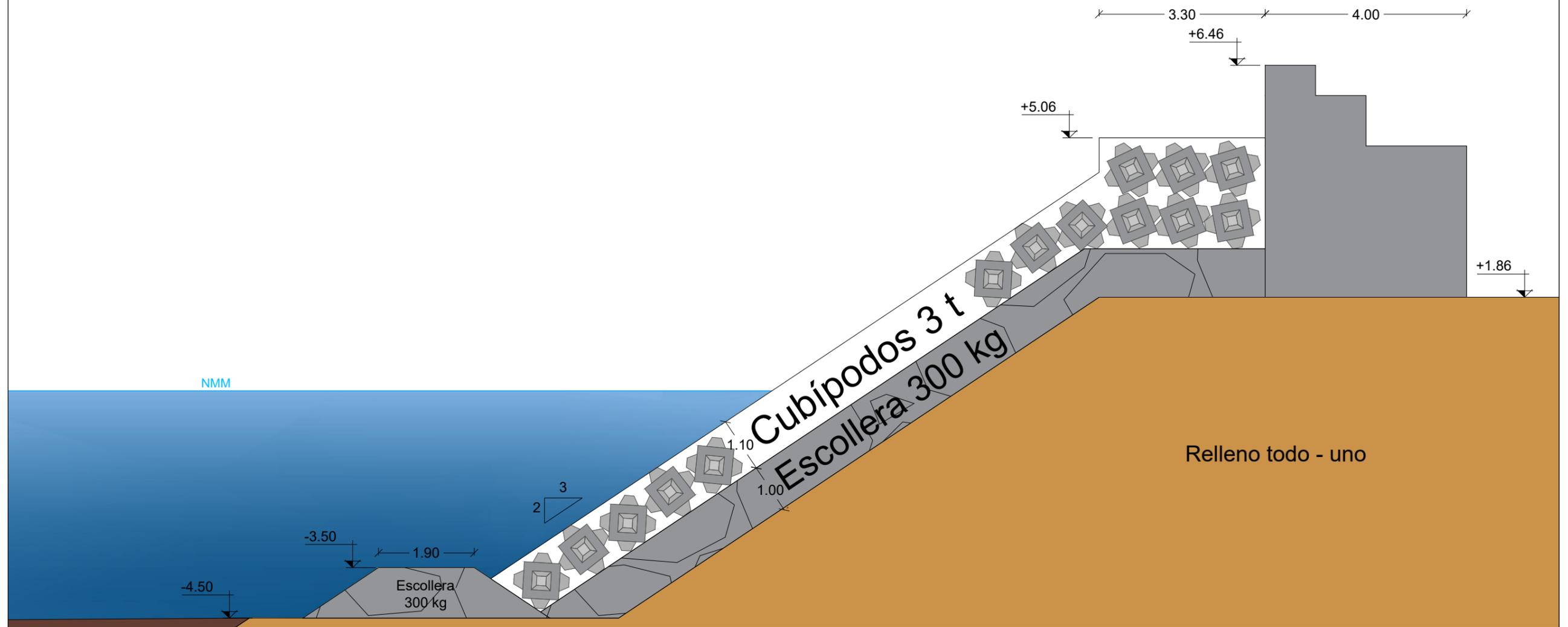
TÍTULO DEL PROYECTO:
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDIA (VALÈNCIA).

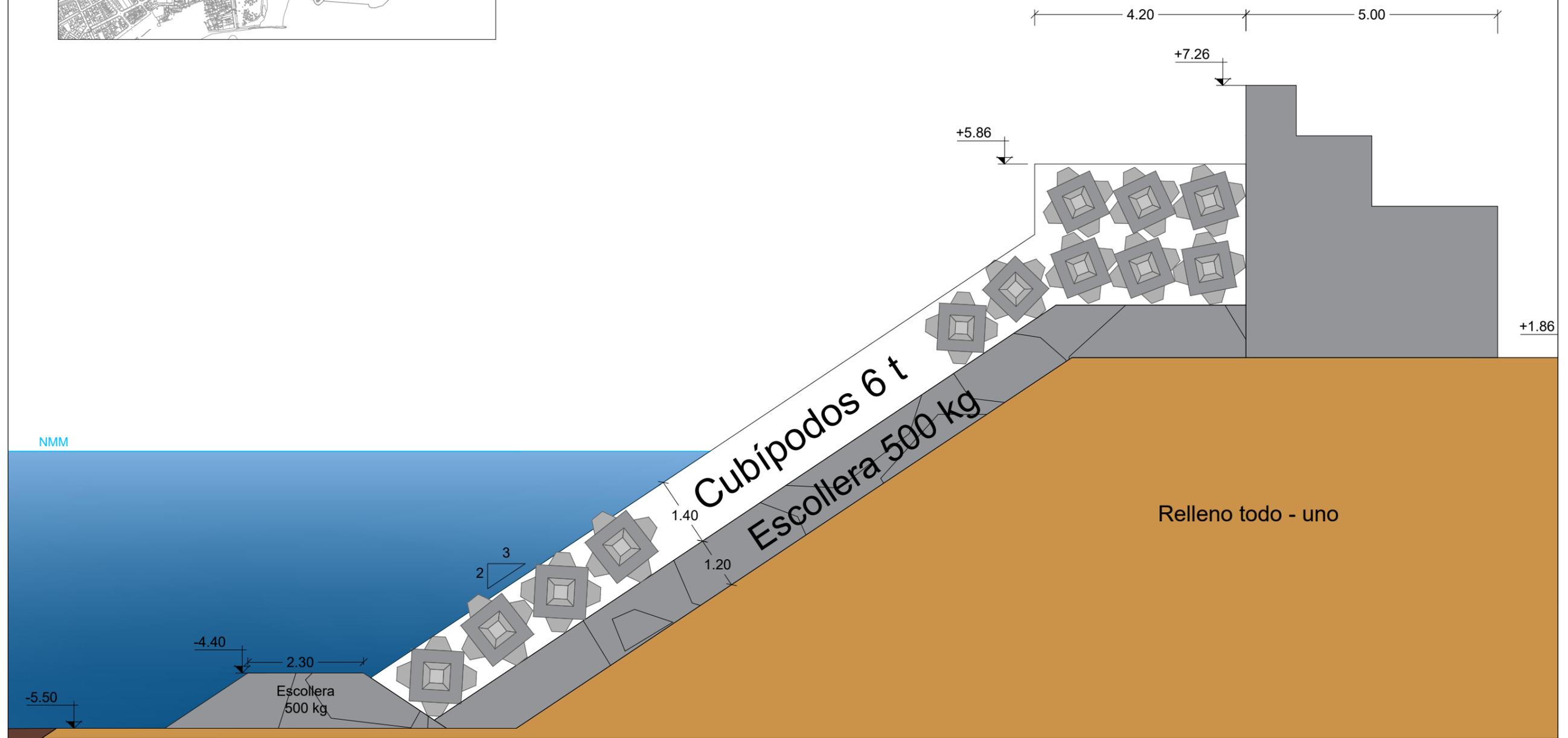
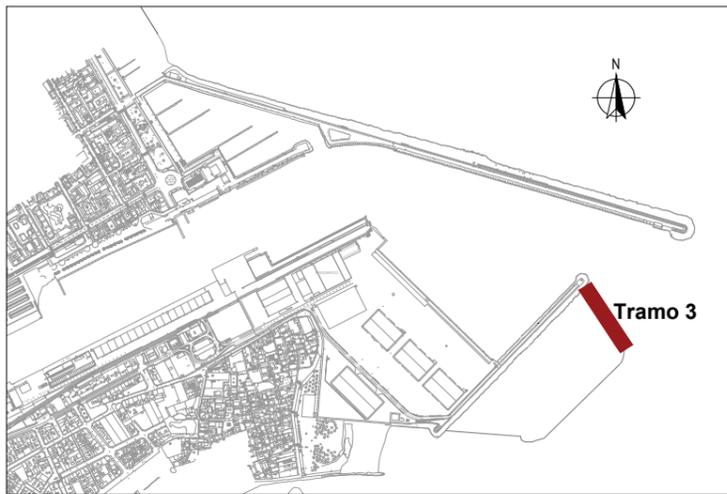
ESCALA:
1/100

FECHA:
SEPTIEMBRE 2024

TÍTULO DEL PLANO:
ALTERNATIVA 2: SECCIÓN DEL TRAMO 3

Nº PLANO:
8
HOJA:
1 de 1





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

AUTOR Y FIRMA:
PASCUAL MORANT ALEGRE
[Signature]

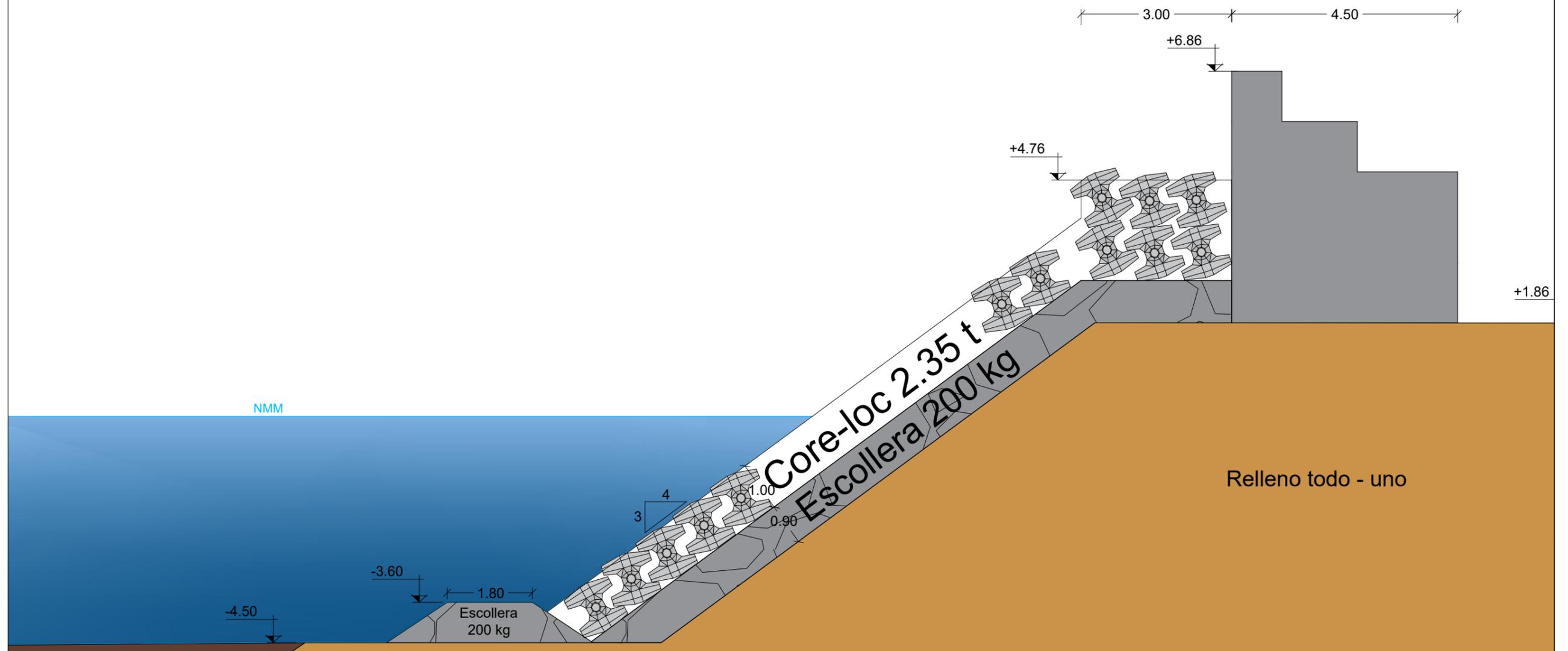
TÍTULO DEL PROYECTO:
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDIA (VALÈNCIA).

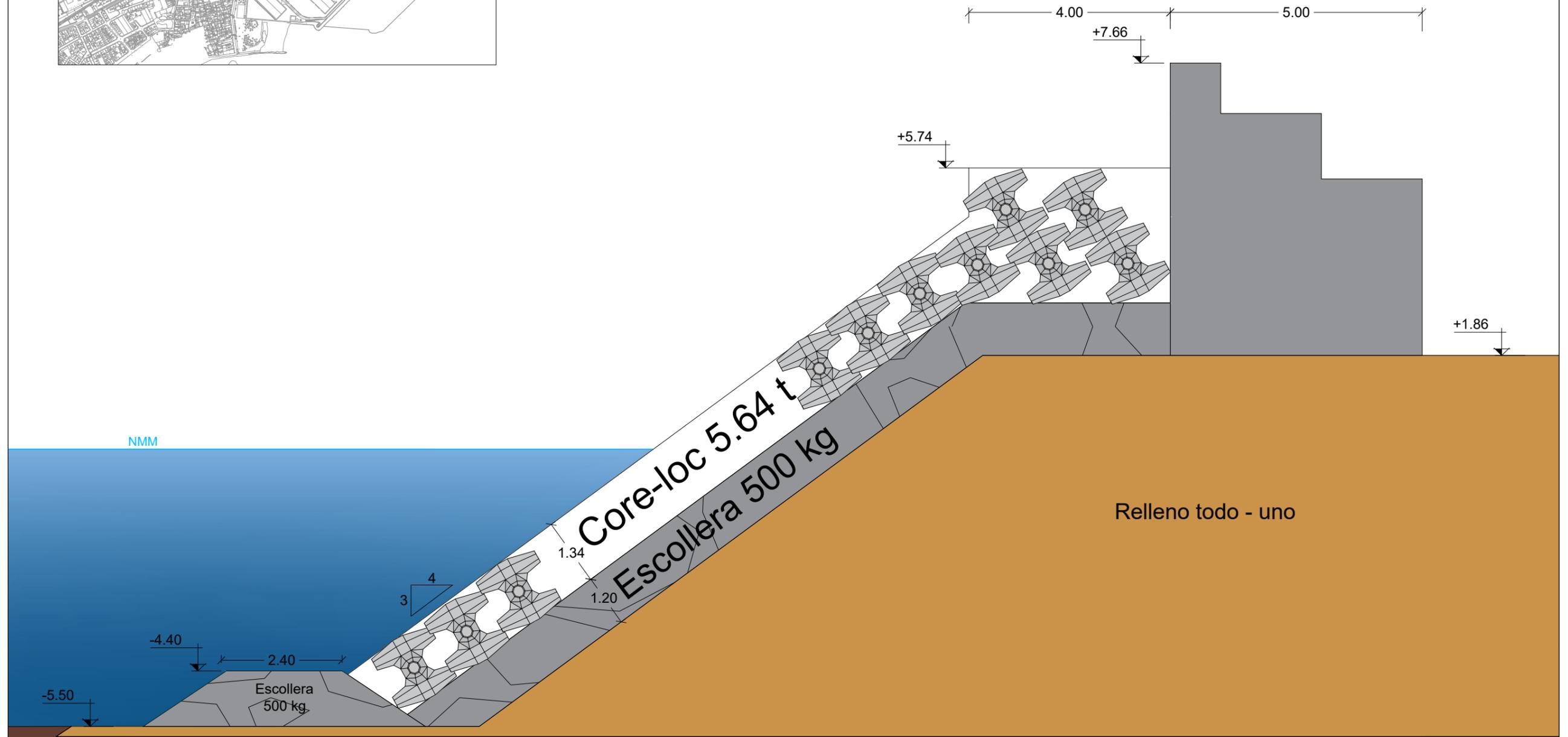
ESCALA:
1/85

FECHA:
SEPTIEMBRE 2024

TÍTULO DEL PLANO:
ALTERNATIVA 3: SECCIÓN DEL TRAMO 3

Nº PLANO:
10
HOJA:
1 de 1





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

AUTOR Y FIRMA:
PASCUAL MORANT ALEGRE

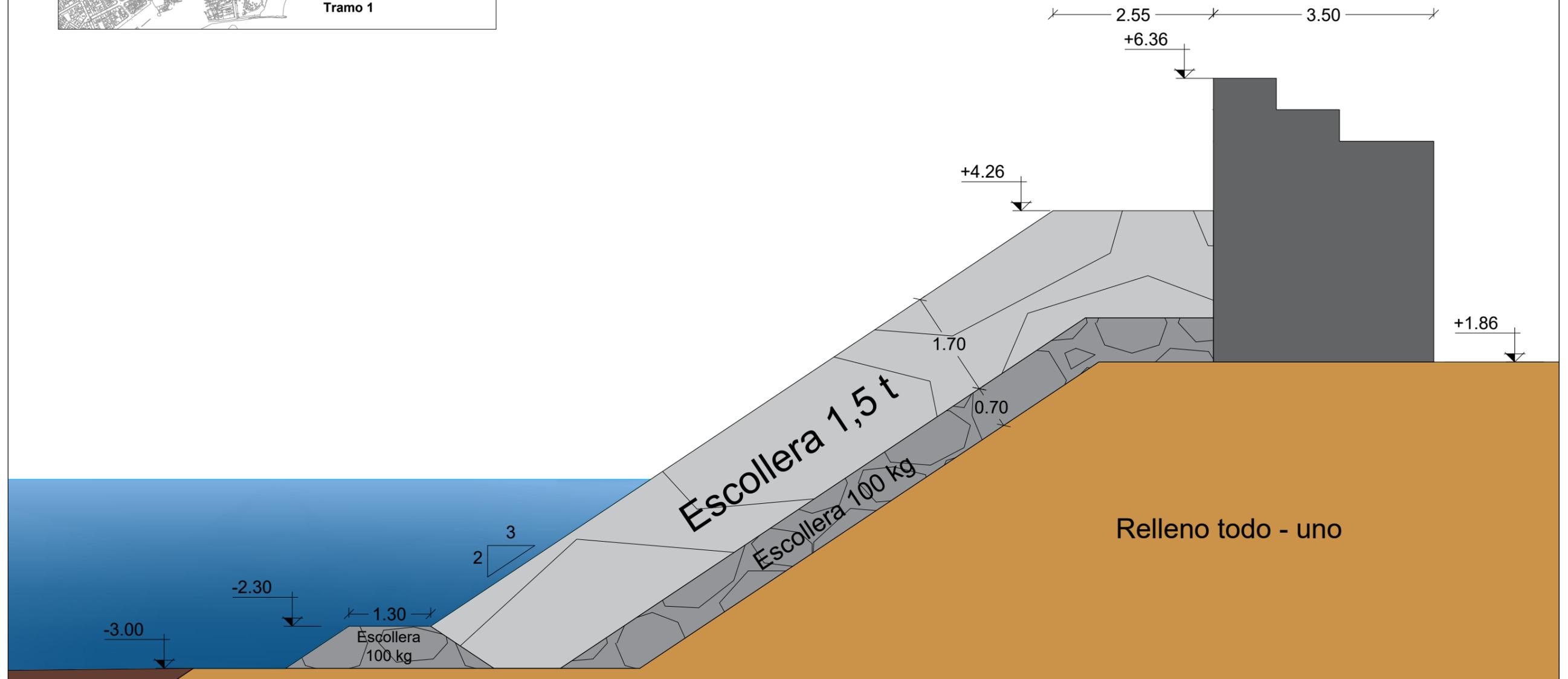
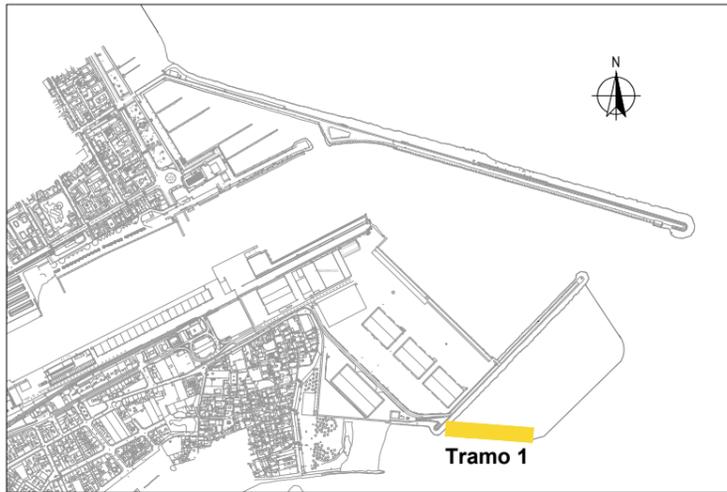
TÍTULO DEL PROYECTO:
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDIA (VALÈNCIA).

ESCALA:
1/85

FECHA:
SEPTIEMBRE 2024

TÍTULO DEL PLANO:
ALTERNATIVA 4: SECCIÓN DEL TRAMO 3

Nº PLANO:
12
HOJA:
1 de 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

AUTOR Y FIRMA:
PASCUAL MORANT ALEGRE

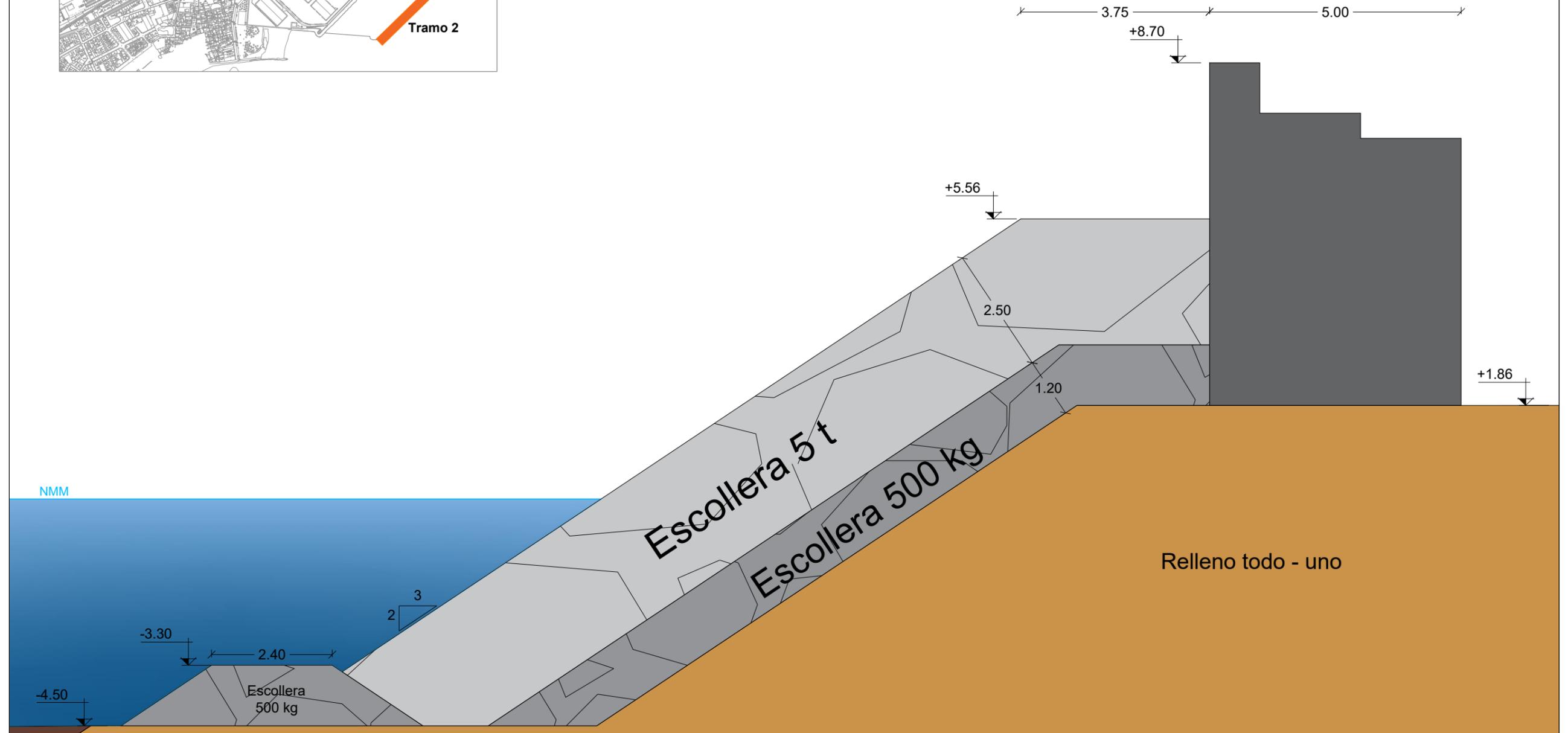
TÍTULO DEL PROYECTO:
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDIA (VALÈNCIA).

ESCALA:
1/70

FECHA:
SEPTIEMBRE 2024

TÍTULO DEL PLANO:
SOLUCIÓN ADOPTADA:
SECCIÓN DEL TRAMO 1

Nº PLANO:
13
HOJA:
1 de 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

AUTOR Y FIRMA:
PASCUAL MORANT ALEGRE

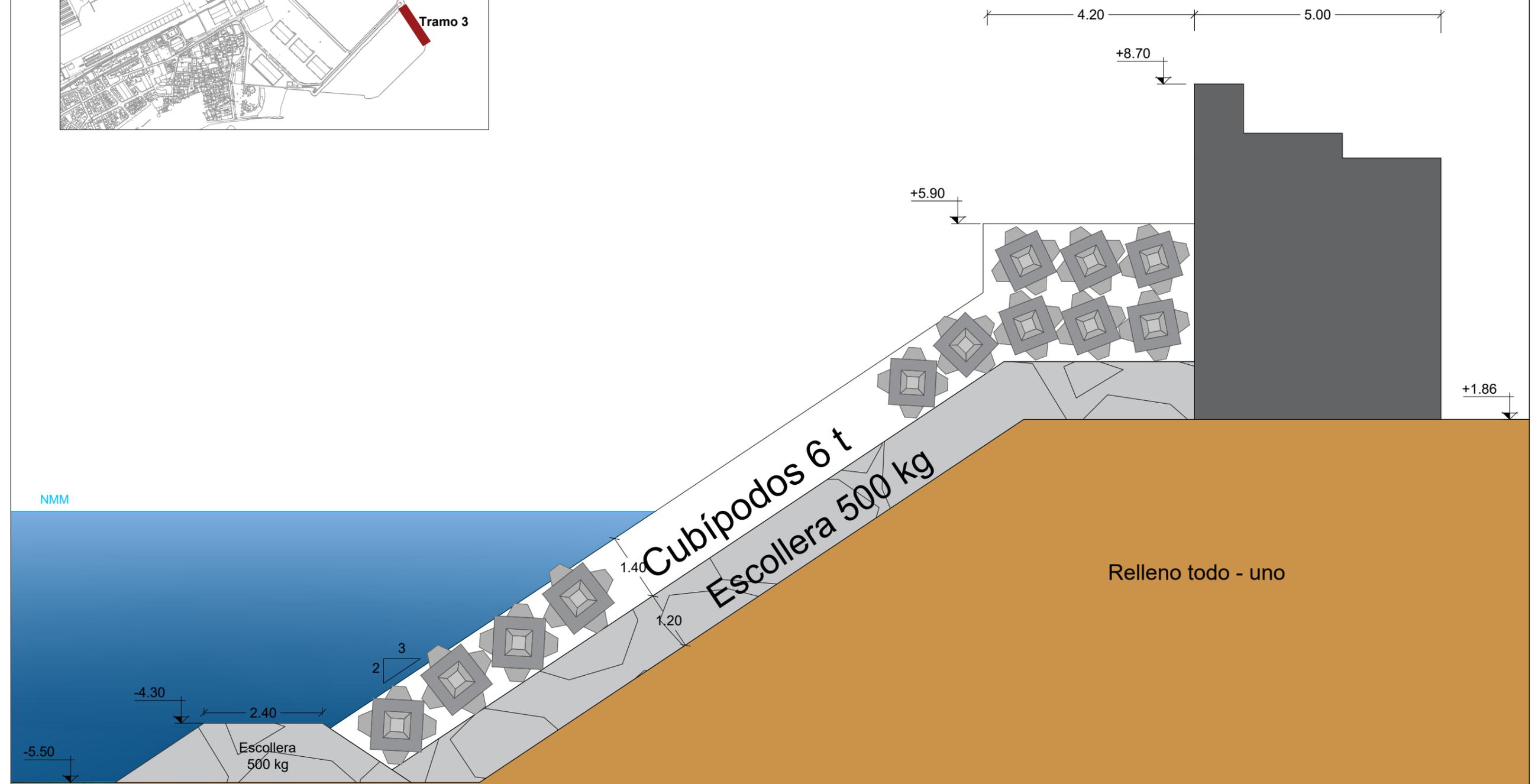
TÍTULO DEL PROYECTO:
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDIA (VALÈNCIA).

ESCALA:
1/85

FECHA:
SEPTIEMBRE 2024

TÍTULO DEL PLANO:
SOLUCIÓN ADOPTADA:
SECCIÓN DEL TRAMO 2

Nº PLANO:
14
HOJA:
1 de 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

AUTOR Y FIRMA:
PASCUAL MORANT ALEGRE
[Signature]

TÍTULO DEL PROYECTO:
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDIA (VALÈNCIA).

ESCALA:
1/85

FECHA:
SEPTIEMBRE 2024

TÍTULO DEL PLANO:
SOLUCIÓN ADOPTADA:
SECCIÓN DEL TRAMO 3

Nº PLANO:
15
HOJA:
1 de 1