



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES  
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

## INFORME TÉCNICO

para

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Secretaría de Estado de Medio Ambiente

Dirección General de la Costa y el Mar

ANÁLISIS DE TRAMOS DE COSTA CON PROBLEMAS EN EL ÁMBITO DE LAS  
COMPETENCIAS DE LA DGCM

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA MEJORA DE LA PLAYA DE  
PORTMÁN (T.M. LA UNIÓN – MURCIA).

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA ESTABILIZACIÓN  
DE LA PLAYA

Centro de Estudios de Puertos y Costas

**CEDEX**

Clave CEDEX:22-425-5-001

Madrid, enero de 2026







GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES  
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO:

**ANÁLISIS DE TRAMOS DE COSTA CON PROBLEMAS EN EL  
ÁMBITO DE LAS COMPETENCIAS DE LA DGCM  
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA MEJORA DE LA PLAYA DE  
PORTMÁN (T.M. LA UNIÓN – MURCIA).  
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA  
ESTABILIZACIÓN DE LA PLAYA**

CLIENTE:

**Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico  
Secretaría de Estado de Medio Ambiente  
Dirección General de la Costa y el Mar**

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

**VALIDEZ OFICIAL**

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

LA DIRECTORA DEL CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS

Fdo. Ana M<sup>a</sup> Lloret Capote

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

A la fecha de la firma electrónica

LA DIRECTORA DEL CEDEX

Fdo. Áurea Perucho Martínez

SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES  
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

## ÍNDICE

<b>1. ANTECEDENTES Y OBJETO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ELEMENTOS DEL DISEÑO DE UNA REGENERACIÓN DE PLAYA</b> .....	<b>4</b>
2.1 DISEÑO DEL PERFIL.....	4
2.1.1 CONSIDERACIONES GENERALES RELATIVAS AL DISEÑO DEL PERFIL.....	4
2.1.2 CONDICIONANTES ESPECÍFICOS DE LA ACTUACIÓN EN LA PLAYA DE PORTMÁN .....	6
2.2 MATERIAL DE PRÉSTAMO: GRANULOMETRÍA Y VOLUMEN .....	11
2.3 DISEÑO EN PLANTA .....	12
<b>3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS</b> .....	<b>15</b>
3.1 ALTERNATIVAS SIN DRAGADO .....	15
3.1.1 ALTERNATIVA 1A .....	15
3.1.2 ALTERNATIVA 1B .....	19
3.1.3 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS 1A Y 1B.....	22
3.2 ALTERNATIVAS CON DRAGADO .....	24
3.2.1 ALTERNATIVA 2A .....	24
3.2.2 ALTERNATIVA 2B .....	27
3.2.3 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS 2A Y 2B.....	32
<b>4. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO</b> .....	<b>34</b>
4.1 OBJETIVOS Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO .....	34
4.2 ELEMENTOS DEL SEGUIMIENTO, MEDIDAS E INDICADORES DE ACTUACIÓN .....	35
4.3 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO .....	36
<b>5. RESUMEN Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>37</b>
5.1 OBJETO Y CONDICIONANTES DE LA ACTUACIÓN POR PARTE DE LA DGCM .....	37
5.2 PRINCIPALES ELEMENTOS DE DISEÑO .....	38
5.2.1 ALTERNATIVAS PLANTEADAS .....	38
5.2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS.....	38
5.3 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.....	40
5.4 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO .....	42
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>43</b>

ANEJOS

ANEJO 1: CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL ENTORNO

ANEJO 2: DISEÑO EN PLANTA



ANEJO 3: RESUMEN INFORME PLAYAS DE BARCELONA

ANEJO 4: BASE TEÓRICA DEL DISEÑO

ANEJO 5: CÁLCULOS DE VOLÚMENES DE RELLENO Y DRAGADO

## 1. ANTECEDENTES Y OBJETO

Este informe técnico se ha elaborado a solicitud de la Dirección General de la Costa y el Mar (en adelante, DGCM) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en el marco del Encargo al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) para la “Investigación aplicada, desarrollo Tecnológico e innovación en materias competencia de la Dirección General de la Costa y el Mar”.

En el marco de los trabajos técnicos desarrollados por el CEDEX para la DGCM en relación con la playa de Portmán, en noviembre de 2024 se emitió el informe “*Ensayos en modelo físico 2D con fondo móvil del Proyecto de regeneración ambiental de la bahía de Portmán*” (CEDEX, 2024); posteriormente, en marzo de 2025, se emitió una nota técnica aclaratoria, titulada “*Aclaraciones al informe ‘Ensayos en modelo físico 2D con fondo móvil del Proyecto de regeneración ambiental de la bahía de Portmán’ y recomendaciones para el diseño de una solución viable*” (CEDEX, 2025).

En el informe de noviembre de 2024 se analizó mediante ensayo en modelo físico 2D la viabilidad de las alternativas 3A y 3C incluidas en el estudio de alternativas del proyecto “*Actualización del Proyecto de regeneración ambiental de la bahía de Portmán*”, redactado por PROES Consultores S.A. para la DGCM (Proes, 2022). De dicho análisis se concluyó, de forma resumida, que estas soluciones no presentaban un comportamiento satisfactorio desde el punto de vista de la estabilidad de la playa.

Posteriormente, en la nota técnica de marzo de 2025 se procedió a aclarar los resultados obtenidos en el informe anterior y a revisar el conjunto de alternativas planteadas en el estudio de Proes (2022), con el objetivo de identificar las soluciones más adecuadas. Como resultado de este análisis, se consideró que únicamente la alternativa 4 presentaba las condiciones para no ser descartada; asimismo, se incluyeron recomendaciones sobre los aspectos a contemplar en un posterior estudio de detalle.

Por tanto, el objetivo de este informe, de acuerdo con las indicaciones recibidas de la DGCM, es desarrollar una propuesta de actuación para la estabilización de la playa de Portmán, considerando los resultados y conclusiones obtenidos en los trabajos citados. Para ello, se plantean soluciones orientadas a estabilizar la línea de costa, partiendo de la alternativa 4 antes citada, mediante el aporte de arena y la ejecución de estructuras de apoyo, eliminando o reduciendo al mínimo imprescindible el movimiento del material depositado en la bahía de Portmán.

Por tanto, para cumplir el objeto de este estudio, deben tenerse en cuenta los siguientes condicionantes fundamentales de la actuación:

- Estabilización de la playa: en primer lugar, se debe conseguir una playa estable en planta y en perfil. Por tanto, debe evitarse el basculamiento que actualmente experimenta, así como considerarse su variabilidad estacional e interanual frente a la acción del oleaje, tratando de minimizar las labores de mantenimiento.
- Recubrimiento de los depósitos mineros: se debe evitar que estos depósitos puedan alcanzar la parte emergida de la playa, donde su exposición al aire y al oleaje podría



favorecer la entrada de metales pesados al medio marino y comprometer la calidad ambiental del entorno. Para prevenirlo, se propone recubrir el perfil más activo de la playa actual con material limpio, dotándole de un espesor que evite que los depósitos puedan entrar en contacto con la atmósfera.

- Limitar la movilización del material depositado en la Bahía de Portman al mínimo indispensable.
- Acondicionar como playa la zona en la que se encuentra la dársena pesquera/recreativa situada a levante, ya que, de acuerdo con las indicaciones recibidas de la DGCM, en el proceso de consultas a las alternativas se han estimado las alegaciones en las que se propone la creación de un puerto en el lado occidental de la bahía. Esta actuación permitiría la continuidad entre la playa del Lastre y la de Portmán (también conocida como playa de San Bruno).
- En este informe no se aborda el diseño del puerto (condiciones de abrigo, dimensiones de la bocana, dársena, calados, disposición de pantalanés y puntos de atraque), de acuerdo con las indicaciones recibidas, dado que los puertos no declarados como de interés general son competencia de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, responsable de promover la construcción de estas instalaciones, sin perjuicio de que sea la Administración del Estado la que otorgue el correspondiente título de adscripción.

Como consecuencia de estos condicionantes, y teniendo en cuenta las características de la playa actual (fundamentalmente, su perfil convexo, sus fuertes pendientes a profundidades mayores a 5-6 m) se derivan las siguientes circunstancias:

- El recubrimiento necesario para cumplir con los objetivos mencionados en los puntos anteriores es incompatible con el mantenimiento de la línea de orilla en su posición actual, por lo que resulta imprescindible adelantar su posición (avance), tal como se detalla a lo largo del presente informe técnico. Este avance es también necesario para minimizar el volumen de dragado de los depósitos mineros, en las alternativas donde se ha planteado esta posibilidad.
- Además, será necesario ejecutar estructuras marítimas de apoyo lateral (espigones) y de fondo (dique de pie de playa), cuya definición y justificación se presentan también de forma detallada a lo largo del presente informe técnico.

En relación con el dragado de los depósitos mineros, se plantean inicialmente dos alternativas de actuación que no contemplan dicho dragado (alternativas 1A y 1B). Sin embargo, el análisis de dichas alternativas ha evidenciado la conveniencia de acometer un dragado para garantizar un espesor mínimo del recubrimiento en zonas del perfil activas. Esto ha llevado a plantear dos alternativas adicionales (2A y 2B), en las que también se ha tenido en cuenta la necesidad de minimizar los volúmenes de dragado requeridos. La segunda de estas alternativas (2B) es la que considera, como se ha mencionado anteriormente, la posibilidad de construir un puerto para uso recreativo y pesquero en el sector occidental de la playa.

La Figura 1 muestra un esquema básico de la solución planteada, consistente en una playa que avanza sobre la actual, con el nuevo perfil apoyado en un dique sumergido (denominadas habitualmente “playas colgadas”, por su denominación en inglés *perched beach*), aunque en este

caso se incorporan algunas variantes que se irán desarrollando y motivando a lo largo de este informe. Junto con el diseño del perfil de playa, la solución debe tener en cuenta que la forma en planta también debe ser estable, para lo cual se necesitará apoyar el relleno lateralmente, mediante dos espigones, tal como se acaba de mencionar.

En los siguientes apartados se presentará la propuesta, comenzando con las consideraciones generales e introduciendo, progresivamente, diversos factores y condicionantes reales que afectan a la actuación y que harán necesarias modificaciones a la solución básica. Una vez descritas las distintas alternativas planteadas se analizarán las principales ventajas y desventajas o puntos débiles de cada alternativa, así como los estudios de detalle necesarios en cada caso.

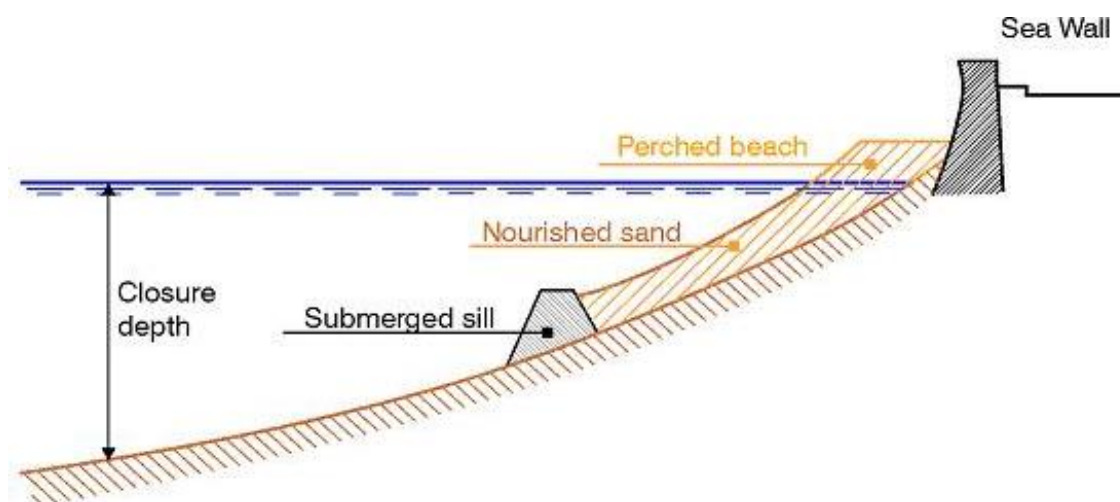


Figura 1. Esquema básico de la solución planteada (vista de perfil). Fuente: Coastal Wiki - enlace [aquí](#)

## 2. ELEMENTOS DEL DISEÑO DE UNA REGENERACIÓN DE PLAYA

### 2.1 DISEÑO DEL PERFIL

#### 2.1.1 CONSIDERACIONES GENERALES RELATIVAS AL DISEÑO DEL PERFIL

De manera muy resumida, el diseño del perfil está condicionado por diversos factores, entre los que se encuentran los que son generales de cualquier actuación de esta tipología, contemplados en los párrafos siguientes, y los específicos de la playa de Portmán, que se tratan posteriormente. Entre estos condicionantes específicos, se destaca la forma convexa del perfil de playa a profundidades superiores a los 5 m, y las elevadas pendientes del fondo a partir de dicha profundidad. De forma muy resumida, ambos factores llevan a plantear la construcción de un dique sumergido que sostenga el perfil de playa, lo cual condiciona el diseño del recubrimiento, tal como se detallará en el apartado 2.1.2.

Cuando se diseña una regeneración de playa o una playa artificial, el objetivo principal es conseguir un perfil de playa que sea estable (considerando su variabilidad estacional e interanual) frente a la acción del oleaje. Como se ha indicado anteriormente, en el caso de la playa de Portmán, además de garantizar esa estabilidad del perfil, es imprescindible que el material de aportación, limpio, cubra completamente y en todo momento los depósitos mineros, contaminados, evitando que queden al descubierto por los procesos naturales que modifican el perfil de la playa.

En principio, por tanto, para cubrir los depósitos mineros sin necesidad de realizar dragados, o minimizando el volumen a dragar, en su caso, se plantea colocar un recubrimiento de arena limpia sobre el perfil actual, adelantando la línea de orilla una distancia  $x$ . Este recubrimiento debe tener siempre un espesor suficiente  $e(z)$ , mayor cuanto más activa es la zona del perfil (es decir, donde se prevé que se produzca un transporte de sedimentos más intenso), para evitar que el oleaje movilice el material contaminado y pueda transportarlo transversalmente hacia la zona emergida.

Para que el nuevo perfil de playa sea más estable que el perfil original o nativo, es habitual utilizar un material de aportación más grueso que el nativo, de manera que se obtiene una playa con mayor pendiente, lo que permite que el nuevo perfil se corte con el existente a una profundidad,  $p$ , que dependerá de la forma de ambos perfiles. La Figura 2 presenta los parámetros básicos de la actuación tal como se ha descrito hasta ahora.

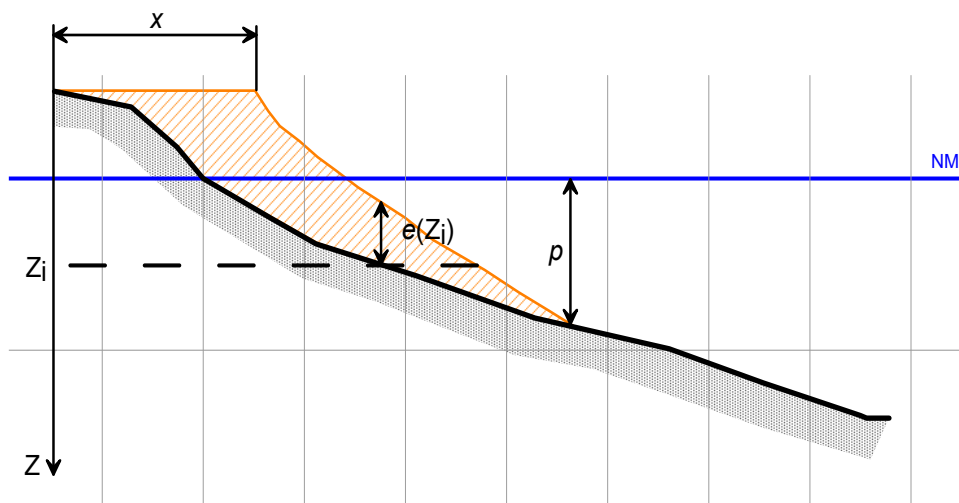


Figura 2. Parámetros básicos de la actuación propuesta. Vista en perfil.

Para evitar que los estériles puedan alcanzar la superficie (es decir, la orilla), sería necesario que el nuevo perfil cubriese toda la zona activa del perfil, llegando a profundidades muy elevadas (en principio, orientativamente, la profundidad de cierre). Sin embargo, más adelante se comprobará que este supuesto no aplica.

En cuanto a la forma del nuevo perfil de playa, se ha optado por definir uno lo más realista posible, evitando utilizar perfiles teóricos que en este caso se considera que no son aplicables, como es el caso del perfil de Dean. Debe tenerse en cuenta que, por las hipótesis que se emplea para su obtención, el perfil de Dean resulta más conveniente para representar la forma de las playas disipativas.

En condiciones naturales, una playa con arenas de tamaño medio a grueso ( $D_{50} \approx 0,25 - 1,0 \text{ mm}$ ) sometida a un oleaje similar al de Portmán (que puede considerarse relativamente suave) suele presentar un perfil reflejante, que se caracteriza por una pendiente pronunciada en la zona de la orilla (frente de playa o “estrán”), y que se va suavizando progresivamente conforme aumenta la profundidad. Este es el caso de la playa de Portmán (hasta profundidades cercanas a los 5 m) o de otras playas situadas en el entorno más próximo, como ocurre en la playa del Portús o en la del Castellar, cuyos tamaños de grano son en general algo superiores. Las características de ambas playas se pueden consultar en el Anejo 1.

Para la determinación más realista posible del perfil de playa se han empleado las expresiones de (Vellinga, 1986) que utilizan la forma del perfil nativo, junto con las leyes de escala, para determinar la forma del perfil en el caso de que el material no tenga las mismas características que el nativo. En este caso, en el que se dispone de datos de distintas playas situadas en el entorno más próximo, con similares características de oleaje incidente, se ha empleado esta metodología para obtener un perfil a partir de los perfiles de la playa de El Castellar.

El procedimiento de diseño debe incluir un juicio crítico para valorar la idoneidad de los cálculos y las formulaciones aplicadas. Por ejemplo, es habitual que el material disponible difiera significativamente del nativo, perdiendo validez las anteriores fórmulas, o debiendo aplicarse

medidas correctoras. También deben tenerse en cuenta otras posibles diferencias entre la solución diseñada y las hipótesis de partida de las formulaciones empleadas para el cálculo. En este caso, por ejemplo, es fundamental tener en cuenta que todas las alternativas incluyen la ejecución de un dique sumergido que modificará el oleaje incidente sobre la playa, y consecuentemente la hidrodinámica y la forma del perfil, tal como se desarrolla en el apartado siguiente.

## 2.1.2 CONDICIONANTES ESPECÍFICOS DE LA ACTUACIÓN EN LA PLAYA DE PORTMÁN

Una vez expuestos los elementos básicos para el diseño de la actuación, se enumeran otros condicionantes a tener en consideración:

### 2.1.2.1 PERFIL DE LA PLAYA DE PORTMÁN

El perfil de playa en Portmán es convexo. Contrariamente a lo habitual en playas naturales, el perfil de la playa de Portmán no es cóncavo, sino convexo, probablemente como consecuencia de ser el resultado de una aportación masiva de estériles mineros, en una zona relativamente poco energética. Esta diferencia entre perfiles puede apreciarse en la Figura 3, que compara los perfiles de la playa de Portmán y del Castellar, más natural. Esto implica que, para alcanzar un espesor mínimo de recubrimiento, es necesario adelantar la línea de orilla mucho más que en un perfil cóncavo, lo cual a su vez obliga a mayores infraestructuras para el confinamiento lateral y de fondo del nuevo relleno (incluido en la Figura 3, y tal como se adelantaba en el apartado 1)

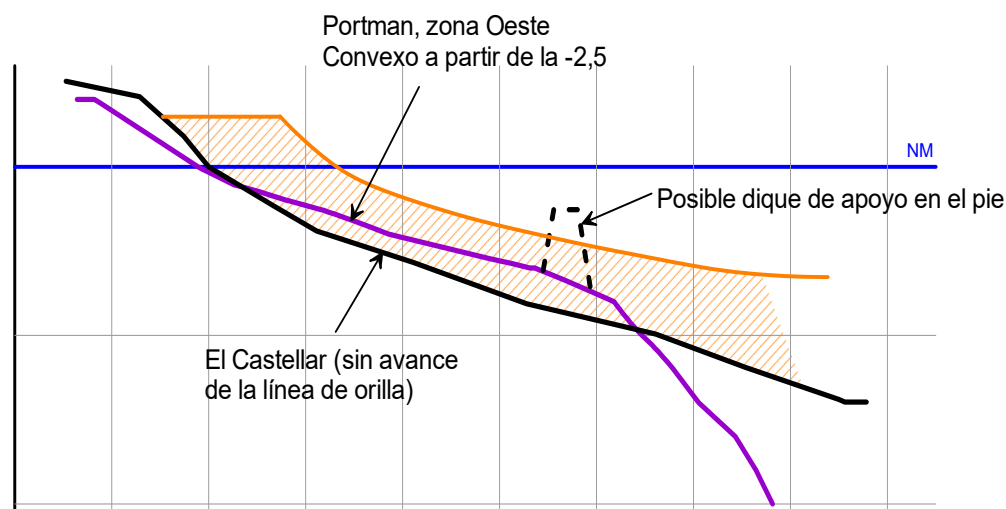


Figura 3. Comparativa entre los perfiles de la playa de Portmán (línea violeta) y la del Castellar (línea negra); la línea naranja muestra un esquema de cómo sería el recubrimiento y los diferentes espesores que se obtendrían para un mismo valor del avance de la línea de orilla.

La pendiente es muy pronunciada entre las cotas -5 m y -22 m. Asociado al mismo origen de la forma convexa del perfil, esta zona presenta otra singularidad en su pendiente, muy elevada, a partir de profundidades situadas en el entorno de los 5-10 m y hasta alcanzar al menos 20 m, tal como se puede apreciar por la batimetría de la playa (Figura 4) y en los perfiles A, B y C que se muestran en la Figura 5.

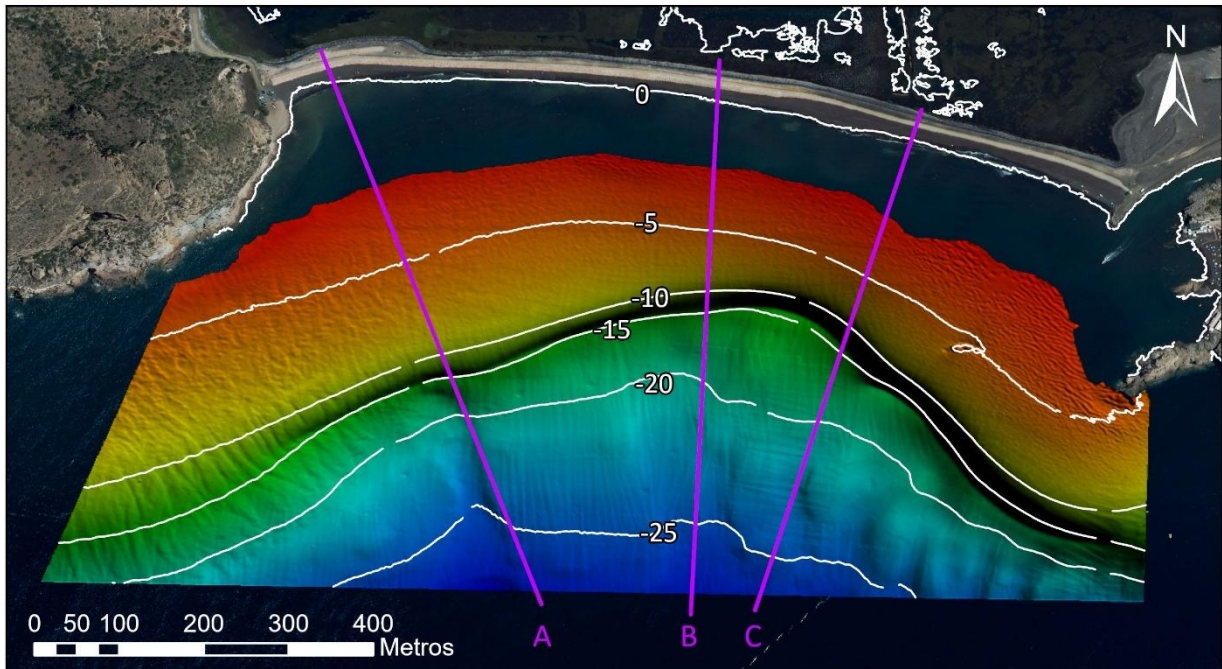


Figura 4. Batimetría de la playa de Portmán en 2022. Fuente: PROES Consultores S.A. “Actualización del Proyecto de regeneración ambiental de la bahía de Portmán” (Proes, 2022)

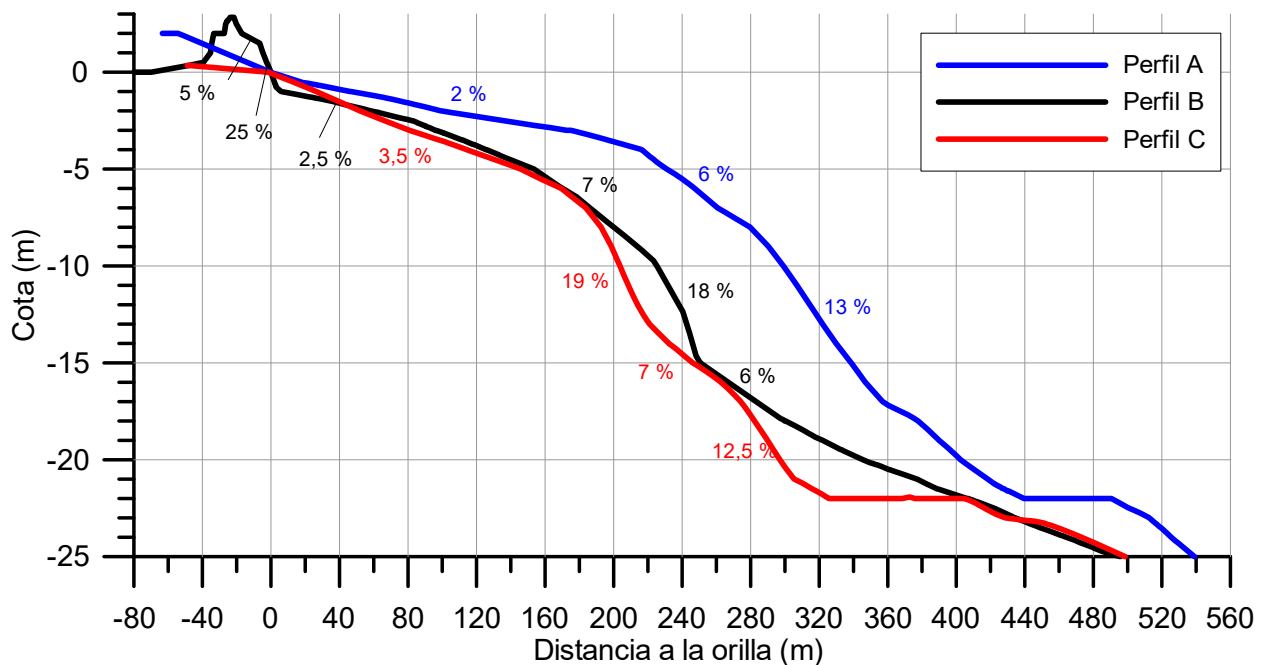


Figura 5. Perfiles y pendientes medias por tramos para la playa de Portmán, en los perfiles que se muestran en la Figura 4, obtenidos a partir de la batimetría de 2022.

En consecuencia, y teniendo en cuenta la necesidad de tener que adelantar la línea de orilla mencionada anteriormente, es necesario construir un dique sumergido para apoyar el perfil de playa (dique denominado “pie de playa”), tal como se adelantaba en la Figura 3. Para determinar a qué profundidad se ubica esta estructura, debe tenerse en cuenta que las pendientes tan elevadas mencionadas anteriormente dificultan su construcción y obligan a elegir entre construirlo a profundidades que no superen los 5-6 m o a profundidades superiores a los 20 m.

Como alternativa, se podría emplear un material de aportación muy grueso, si bien esta opción no se contempla debido a que implicaría un espesor de recubrimiento muy pequeño en las zonas más activas del perfil.

Como aspecto positivo, se considera que la presencia de esta estructura sumergida constituye una barrera que dificulta que el material situado a mayor profundidad alcance la zona emergida. Para ello, dicho material debería resuspenderse, ascender por el talud de la estructura y rebasar su coronación, para posteriormente penetrar en la zona abrigada, lo cual se considera bastante improbable.

#### 2.1.2.2 DURABILIDAD DEL RECUBRIMIENTO: DEFINICIÓN DE ESPESORES MÍNIMOS

El espesor de recubrimiento debe garantizar que la playa tenga un uso adecuado y seguro para la ciudadanía desde el punto ambiental. Para diseñar este espesor se han tenido en cuenta diversos aspectos relacionados con la evolución previsible de la playa una vez puesto en obra el recubrimiento:

- Renaturalización del perfil. Es normal que la puesta en obra del relleno no se corresponda con el perfil natural de playa, que se irá conformando progresivamente durante las primeras semanas tras la citada puesta en obra. Este aspecto ya se tiene en cuenta en el diseño inicial, por lo que no supone necesidades adicionales de material.
- Pérdidas de material por diferencias con el sedimento nativo. También se pueden compensar en la fase de proyecto, habitualmente, aplicando los factores de sobrellenado y realimentación, cuestión que se desarrolla en el Anejo 4 y se resume en el apartado 2.2. No obstante, en este caso cabe destacar que no es posible incrementar el volumen de aportación como medida de compensación, ya que la playa está confinada lateralmente y en el fondo, lo que limita el espacio disponible.
- Basculamientos de la playa. Aunque no se espera que se produzcan grandes basculamientos, debido a la contención lateral de la playa mediante espigones, pequeños giros de la línea de orilla pueden suponer pérdidas significativas de recubrimiento, sobre todo en los extremos de la playa. Este aspecto se ha considerado en el diseño de las alternativas propuestas, mediante la anchura de la nueva playa y la definición de un espesor mínimo del recubrimiento.
- Patrones de circulación en playas colgadas. Estos patrones se describen a continuación.

Es posible que la playa experimente pérdidas de material con el paso del tiempo, como resultado de la hidrodinámica generada por la presencia del pie de playa durante los temporales de oleaje. En resumen, la rotura sobre el pie de playa de los oleajes superiores a  $H_S \approx 1,5 - 2$  m (semejantes a la distancia entre la coronación del dique sumergido y la superficie libre) fuerzan una circulación

en el plano vertical (“circulación forzada”), en dirección hacia la orilla en superficie y que se compensa con una corriente de retorno por el fondo (*undertow*, en notación anglosajona).

Esta circulación da lugar a una erosión del frente de playa, donde la acción del oleaje es más intensa, seguida de un transporte por el fondo y un depósito en la zona más profunda, pudiendo incluso salir una parte del material fuera de la celda, por encima del pie. La Figura 6 muestra estos patrones de circulación y transporte de sedimentos que fuerzan los oleajes mayores, y que han sido observados en zonas con características similares a la que se propone en el presente informe técnico, como en las playas urbanas de Barcelona, donde tras actuaciones de regeneración llevadas a cabo en 2010, el perfil evolucionó hacia formas más tendidas por redistribución natural del material (para más detalle, se puede consultar el Anejo 3).

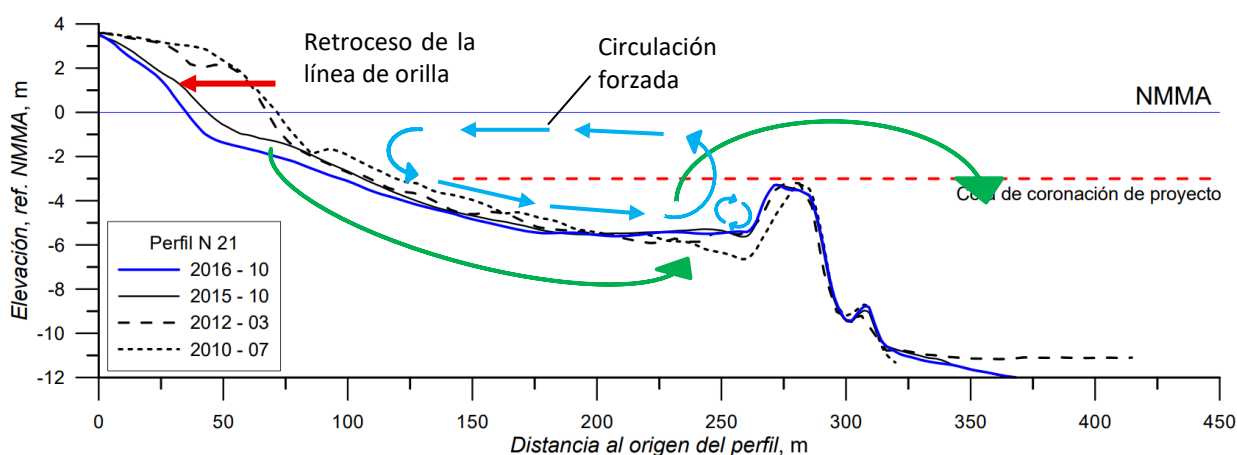


Figura 6. Evolución del perfil de la playa de Mar Bella (Barcelona), donde se ha representado con flechas verdes el posible movimiento del perfil. Fuente: (CEDEX, 2017)

Teniendo en cuenta estos factores, para las alternativas 2A y 2B, que contemplan la posibilidad de dragar los depósitos mineros, se considera necesario definir un espesor mínimo de recubrimiento que garantice el recubrimiento permanente de los depósitos mineros. Nótese que se denomina “espesor mínimo”, porque solo es necesario dragar los depósitos en las zonas donde el espesor del recubrimiento resultante de avanzar el nuevo perfil de playa sea inferior a este espesor mínimo.

En cuanto a la definición de este espesor mínimo de recubrimiento, al tratarse de una problemática tan específica, por la dependencia de numerosas variables (clima marítimo, compatibilidad entre el sedimento nativo y el material de aportación, configuración geométrica del perfil y las estructuras de contención), no se han encontrado estudios científicos que permitan determinar este espesor. Por ello, para tratar de determinar un rango de valores recomendables, se ha llevado a cabo un reanálisis de los resultados del estudio “Análisis de la evolución reciente de las playas de Barcelona”, (CEDEX, 2016 y 2017) resumidos en el Anejo 3 con las siguientes conclusiones aplicables para el diseño de esta actuación de Portmán:

- **Zona activa:** el espesor del recubrimiento debe ser mayor, estimándose necesario al menos un valor de  $e_{act} \approx 2 - 3$  m. Esta zona se corresponde aproximadamente con el frente de playa; en este caso, entre las cotas +2 y -1 aproximadamente.

- **Zona de acumulación:** teniendo en cuenta la previsible evolución del perfil resumida en los párrafos anteriores y detallada en el Anejo 3, así como en el apartado 2.2, el espesor del recubrimiento puede disminuir significativamente a profundidades mayores de 2 o 3 m. Se estima que podría ser suficiente con espesores  $e_{acum} \approx 1$  m.
- **Zona de transición:** en esta zona se puede disminuir el espesor progresivamente, desde el valor de  $e_{act}$  hasta el valor de  $e_{acum}$ .

El conjunto de criterios expuestos permite generar distintas soluciones, en las que un mayor nivel de protección de los depósitos conlleva necesariamente un incremento del volumen de dragado. En consecuencia, se plantean dos opciones: una con mayor nivel de protección y la segunda orientada a minimizar el dragado:

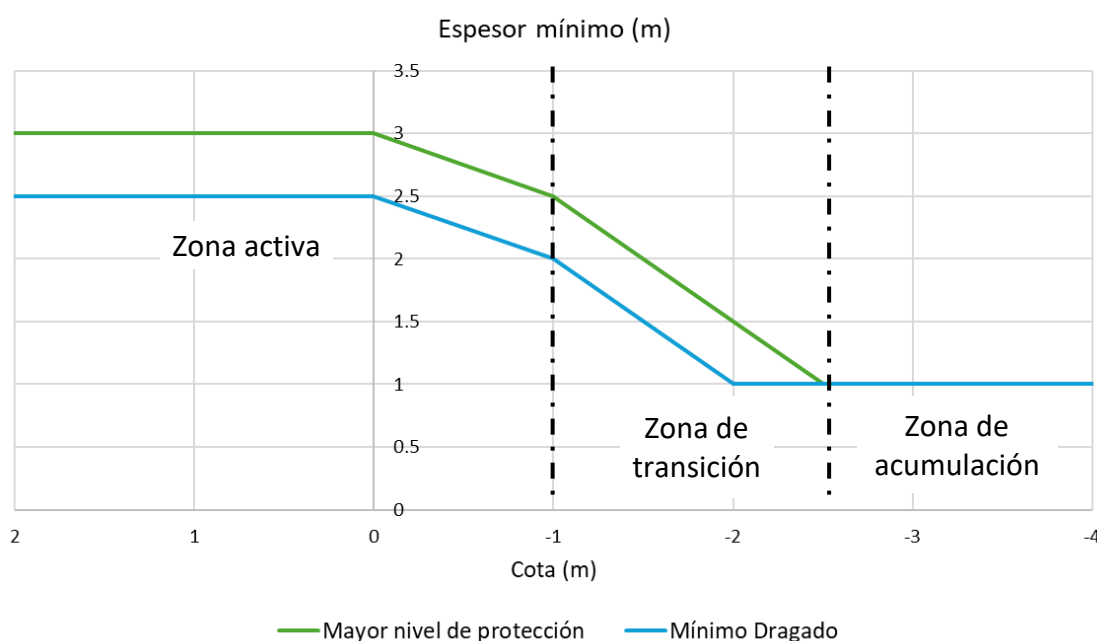


Figura 7. Alternativas de espesores de recubrimiento consideradas: opción con mayor nivel de protección y opción de dragado mínimo.

- Opción con mayor protección del recubrimiento:

$$e_{\text{mínimo}}(z) = \begin{cases} 3 & 2 \leq z < 0 \\ 3 - |z| & 0 \leq z < -2 \\ 1 & z \leq -2 \end{cases}$$

- Opción de dragado mínimo:

$$e_{\text{mínimo}}(z) = \begin{cases} 2,5 & 2 \leq z < 0 \\ 2,5 - 0,5 \cdot |z| & 0 \leq z < -1 \\ 2,0 - 1,0 \cdot |z| & -1 \leq z < -2 \\ 1,0 & z \leq -2 \end{cases}$$

Junto con esta definición de espesores mínimos, se considera fundamental diseñar un programa de seguimiento de la evolución de la playa, y prever la posible necesidad de aportaciones periódicas de material. Este programa se desarrolla en el apartado 4.

## 2.2 MATERIAL DE PRÉSTAMO: GRANULOMETRÍA Y VOLUMEN

Granulometría. En relación con el material de aportación, uno de los factores más importantes que se debe tener en cuenta en el diseño es su tamaño de grano, definido por el valor de  $D_{50}$ . Este tamaño define a grandes rasgos la forma y pendiente del perfil de playa, tal como se ha descrito en el apartado anterior, y de su valor dependerá el avance de la línea de orilla necesario para obtener un recubrimiento adecuado, así como el volumen de aportación y las futuras necesidades de realimentación. Más adelante, en el apartado 3.1.1, se justifican los tamaños elegidos para las distintas alternativas propuestas en el presente informe técnico.

Es importante mencionar que estos tamaños podrían variarse ligeramente, sin que ello suponga un cambio significativo del diseño, si bien deberá tenerse en cuenta que un aumento de tamaño supondría un perfil más inclinado y, probablemente, la necesidad avanzar la orilla algo más de lo propuesto en las alternativas 1A y 1B, mientras que un tamaño inferior dará lugar a un relleno más inestable y mayores necesidades de realimentación, tal como se desarrolla a continuación.

Volumen de aportación. Tal como se ha explicado en el apartado 2.1.2.2, una vez puesto en obra el relleno, se produce una modificación del perfil de playa, que pasa de tener una forma artificial (dependiente del método de ejecución) a una forma más natural. De manera simultánea, también se produce una redistribución de tamaños: en general, el oleaje provocará la segregación del material, migrando los finos hacia zonas sumergidas (a mayor profundidad cuanto más finos), y permaneciendo el material más grueso en la zona del perfil situada ligeramente hacia tierra de la línea de rotura y el frente de playa. De esta forma, es posible que una fracción del material de préstamo no sea estable en la playa a regenerar, especialmente en el caso de las fracciones muy finas o las orgánicas (bioclastos), que son frágiles y tienen menor densidad, de modo que pueden disgregarse y perder tamaño o peso, siendo transportadas fuera del perfil.

Este proceso de selección realizado por la dinámica marina hará que el perfil adopte una forma semejante a la de la playa original, perdiendo al mismo tiempo una parte de su volumen original (correspondiente a las fracciones inestables). El volumen perdido por estos procesos suele tenerse en cuenta mediante el factor de sobrellenado y el factor de realimentación, siendo el método de (James, 1975) el más utilizado para su cálculo. Este método se describe en el Anejo 4.

A pesar de existir métodos para determinar los factores de sobrellenado y sobrealimentación para compensar las diferencias de tamaños entre el material de préstamo y el árido nativo, debe tenerse en cuenta que en el caso de la actuación en la playa de Portmán no es viable incrementar el volumen de aportación, debido a que el espacio disponible se ha confinado tanto lateralmente como en profundidad (mediante dos espigones y un pie de playa), de modo que no existe capacidad adicional para albergar un volumen superior al estrictamente definido. Por tanto, es fundamental tener en cuenta la necesidad de realimentación, para lo cual es necesario un

programa de seguimiento de la evolución de la playa, tal como se adelantaba en el apartado 2.1.2.2 y se desarrolla en el 4.

A pesar de ello, es importante tener en cuenta las implicaciones de una mala selección del material de aportación. Sin entrar en más detalle, ya que a priori no pueden determinarse con exactitud las características del material que se utilizará finalmente en Portmán, la interpretación de los conceptos de sobrellenado y realimentación es simple: si el material de préstamo no es lo suficientemente estable por tener un tamaño inferior al nativo, deberá aportarse un volumen adicional muy superior al calculado, para compensar las pérdidas del material más fino, o bien prever posibles actuaciones de mantenimiento y recarga, en este caso concreto, debido a la falta de espacio disponible para albergar un volumen de aportación mayor.

### 2.3 DISEÑO EN PLANTA

Junto con el diseño del perfil de playa, la solución debe tener en cuenta que la forma en planta también debe ser estable. Para ello, la playa debe estar convenientemente abrigada lateralmente, para minimizar su basculamiento, que podría dar lugar a retrocesos importantes de la orilla en alguno de sus extremos. Esto implicaría la pérdida del recubrimiento por procesos de transporte longitudinal dentro de la misma playa, así como una acumulación en el lado opuesto.

Este aspecto es especialmente importante en la playa de Portmán, que actualmente registra basculamientos de la línea de orilla de hasta 30 m (ver Anejo 1), dependiendo de la dirección predominante del oleaje, procedente de dos sectores:

- Levante: es el más frecuente en la zona ( $\approx 63\%$ ), pero sufre importantes procesos de difracción en su propagación hasta la playa (coeficiente de propagación  $\approx 0,10 - 0,30$ ). Tiende a bascular la línea de orilla hacia el oeste.
- Suroeste: menos frecuente ( $\approx 30\%$ ), pero mucho más energético, dado que apenas sufre procesos de transformación que lo atenúen. Provoca un desplazamiento de material hacia el este.

La Figura 8 representa de forma orientativa el esquema de basculamiento de la playa de Portmán en su situación actual, junto con una representación básica de las consecuencias en términos de erosión del frente de playa como resultado de un excesivo transporte longitudinal.

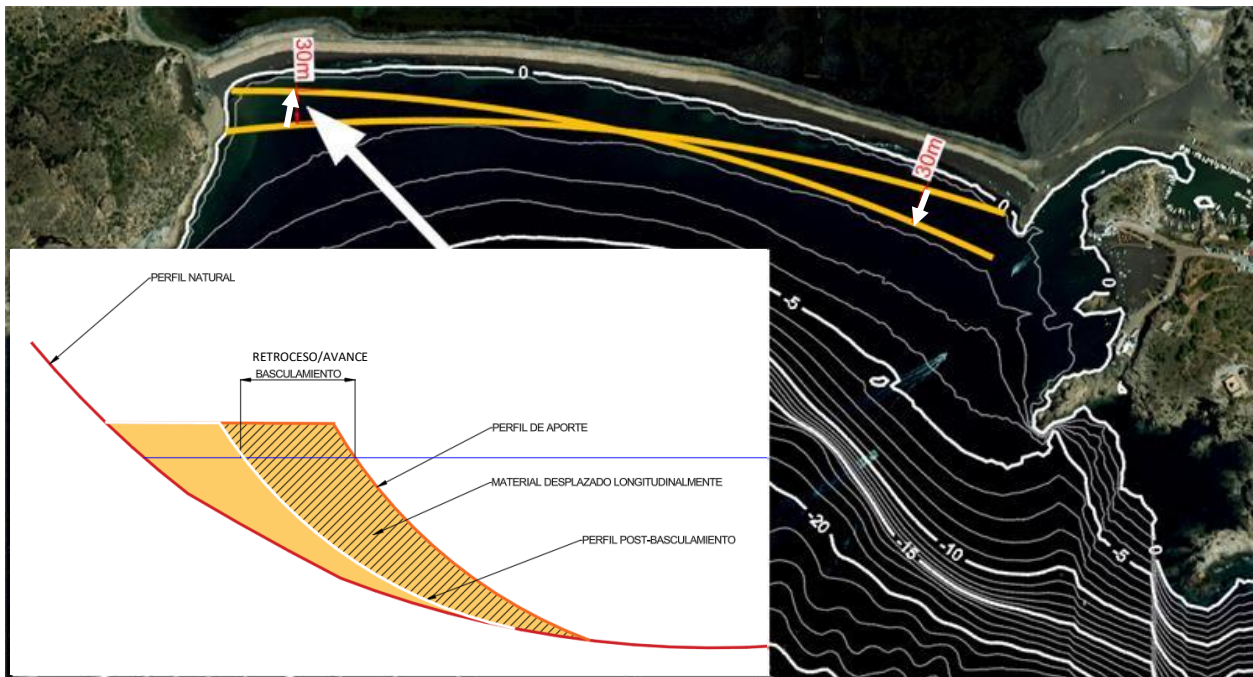


Figura 8. Esquema general del basculamiento de una playa. Vista en planta. La figura insertada a la izquierda muestra las consecuencias del basculamiento (erosión o avance por transporte longitudinal).

La Figura 9 muestra evidencias del basculamiento, que deja al descubierto las arenas amarillas (más contaminadas), en este caso, en el extremo occidental de la playa.



Figura 9. Playa de Portmán en junio de 2025, donde se observa las arenas amarillas que quedan al descubierto en la parte oeste y central de la playa

Para limitar el transporte longitudinal en la playa, es decir el basculamiento, y dar apoyo al nuevo recubrimiento, es necesaria la construcción de dos espigones laterales como se muestra más adelante.



Para la determinación de línea de orilla de equilibrio más probable, considerando un avance de la línea de orilla, se aplica el método empírico de (Tan & Chiew, 1994), basado en la aproximación parabólica propuesta por (Hsu & Evans, 1989), que permite describir la evolución de una playa hacia el equilibrio estático atendiendo únicamente a la oblicuidad y dirección media del oleaje incidente.

Previo al cálculo geométrico, se analizó la rosa de oleaje local, detectándose que más del 80 % de la energía que incide en la bahía procede del tercer cuadrante, motivo por el cual se adopta como dirección morfológicamente representativa  $194,10^\circ$ , otorgando predominancia a los oleajes de componente SW.

Sobre esta base, se construyen dos curvas de equilibrio en planta, para los extremos de poniente y levante. Las soluciones obtenidas definen las futuras líneas de costa tras la alimentación, y se emplean como soporte teórico para el diseño preliminar de dos espigones de estabilización, cuyo dimensionamiento detallado deberá realizarse mediante formulaciones empíricas para obras con manto en talud (van der Meer, J. W., 1988) y (Van Gent & Pozueta, 2004).

El resumen de la teoría y el cálculo de aplicación se muestran en el Anejo nº 2

### 3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

#### 3.1 ALTERNATIVAS SIN DRAGADO

Teniendo en cuenta los condicionantes anteriores, inicialmente se plantean dos alternativas de actuación que permiten recubrir el material contaminado sin dragar los depósitos mineros. Estas dos alternativas consisten, a grandes rasgos, en avanzar la línea de orilla 50 m (Alternativa 1A) y 100 m (Alternativa 1B).

##### 3.1.1 ALTERNATIVA 1A

Esta alternativa consiste básicamente en adelantar la línea de orilla 50 m en la parte central de la playa respecto a la posición actual, para lo cual se considera imprescindible construir un pie de playa a unos 5 m de profundidad, que permita apoyar el nuevo perfil de playa de forma estable, así como sendos espigones en ambos extremos, para dotar de apoyo lateral a la nueva playa.

En cuanto al nuevo perfil de equilibrio, se ha tomado como referencia el perfil de la playa del Castellar, que tiene una orientación similar a la de Portmán. Para adaptarlo a las condiciones específicas del entorno, se han modificado las pendientes por el método de (Vellinga, 1986), obteniendo un perfil más tendido que el de la playa original. En esta Alternativa y en las siguientes, la berma se sitúa a la +2,10 m.

Como material de aportación, se ha considerado necesario usar arena con  $D_{50} \approx 0,6$  mm, que permite alcanzar una pendiente adecuada y mejorar la estabilidad frente al oleaje. Con esta configuración, el espesor que se alcanza es aproximadamente 1-1,5 m, salvo en la zona de levante donde el espesor mínimo obtenido es inferior a 1 m.

Tal como se ha comentado a lo largo de los primeros apartados de este informe, el perfil necesita apoyarse en un pie de playa, que en esta Alternativa 1A se sitúa aproximadamente a la cota -5. Esto se debe a que, en la zona oriental, la pendiente del fondo aumenta fuertemente a partir de esa profundidad, alcanzando valores cercanos al 20 %, lo que dificulta la colocación segura de estructuras.

La forma en planta de la playa propuesta en la Alternativa 1A se ha obtenido aplicando modelos empíricos de equilibrio costero, concretamente las formulaciones de (Tan & Chiew, 1994) y (Hsu & Evans, 1989). Estos modelos permiten definir una línea de orilla parabólica que se ajusta a la dirección del flujo medio de energía oleaje en la bahía de Portmán, que es de 194°.

Para limitar el basculamiento de la línea de orilla y dar apoyo lateral a la playa, se han dispuesto dos espigones, uno en cada extremo de la playa, de tipología estructural en talud y cuyos morros llegan al pie de playa, es decir que llega a la -5 m. Estos espigones actúan como elementos de confinamiento, reduciendo el transporte longitudinal de sedimentos y estabilizando la forma en planta frente a las fluctuaciones estacionales del oleaje.

El esquema de la Alternativa 1A se muestra a continuación, en la Figura 10 (planta) y en sección (Figura 11.). Para la sección se representan a continuación tres perfiles representativos de la zona occidental (perfil 3), central (perfil 9) y oriental de la playa (perfil 15). El resto de los perfiles, cuya posición se muestra en la Figura 12. se presentan en el Anejo 5.

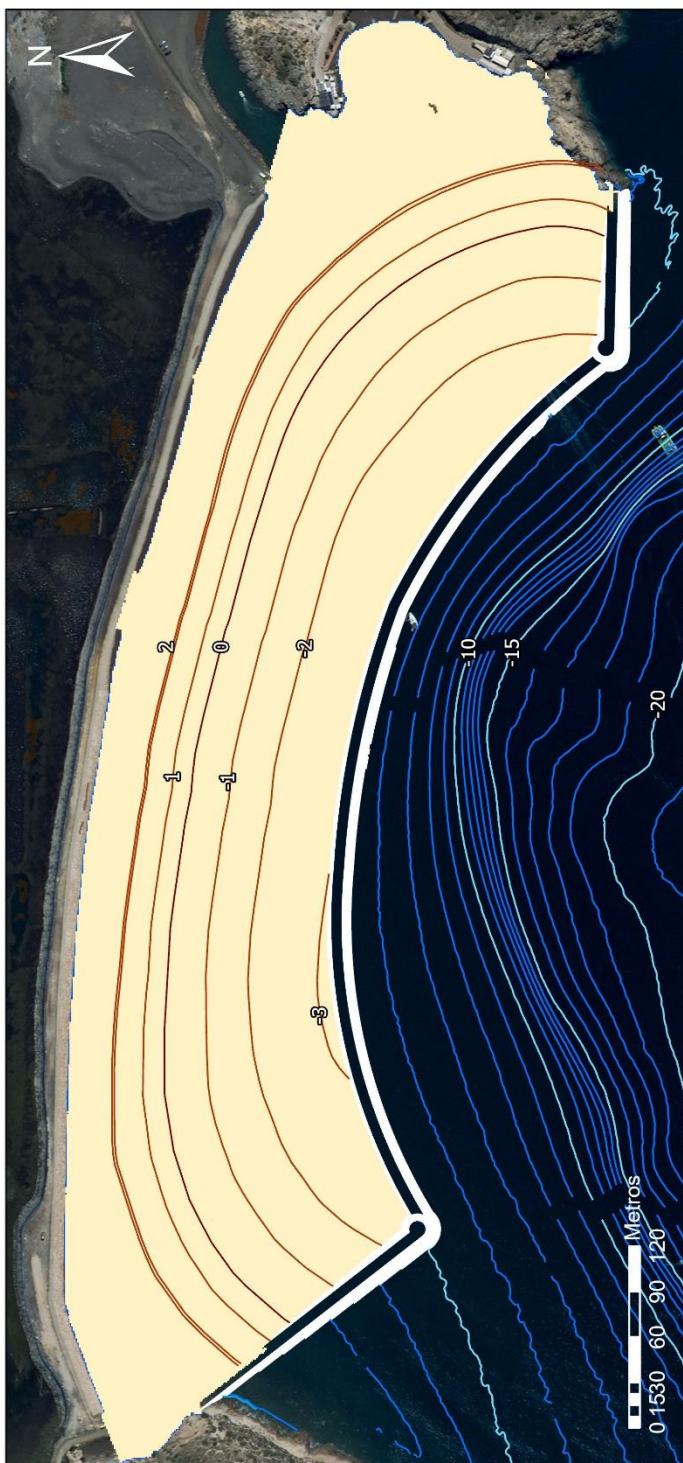


Figura 10. Vista en planta de la Alternativa 1A.

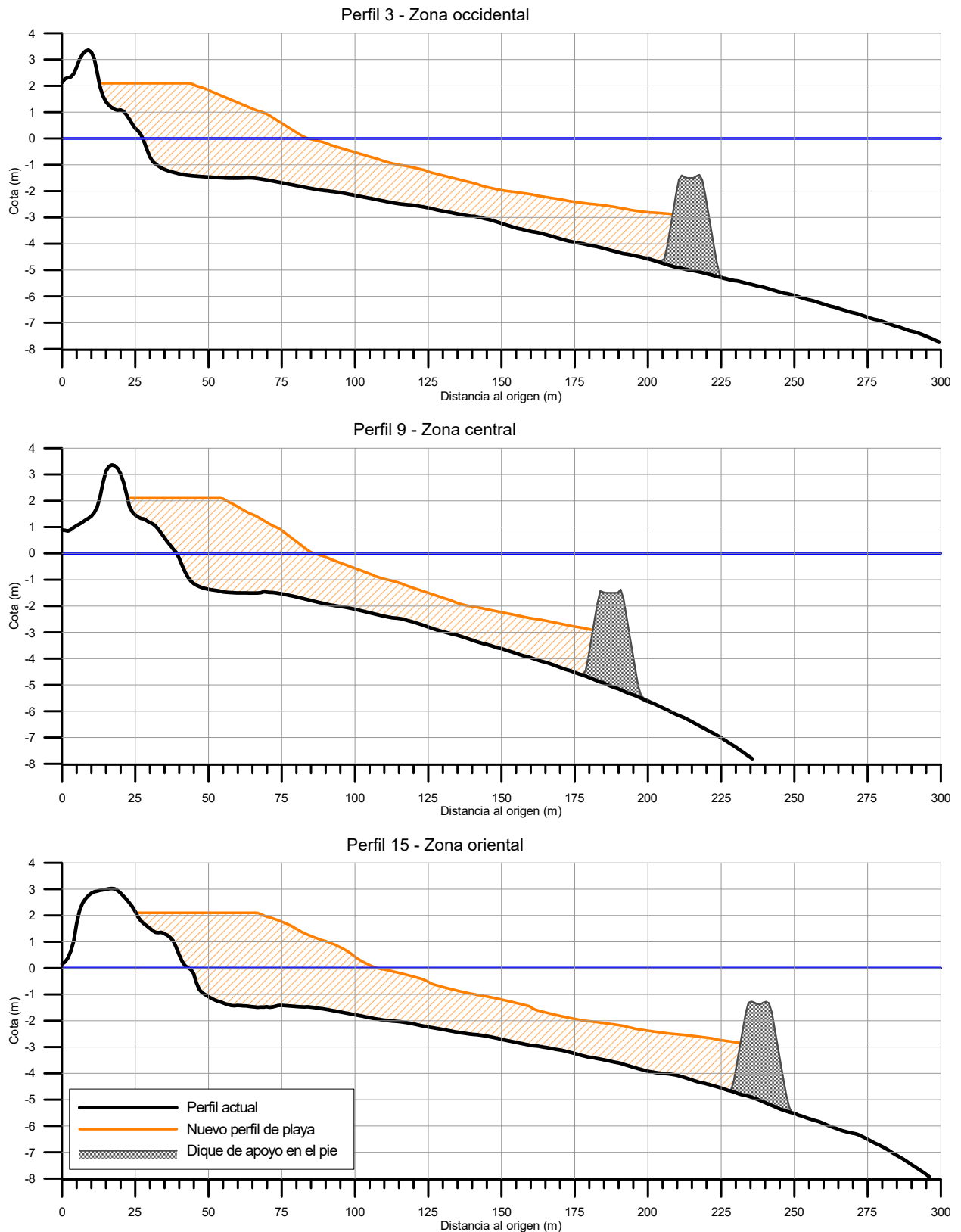


Figura 11. Perfiles 3 (zona occidental), 9 (zona central) y 15 (zona oriental) de la Alternativa 1A.

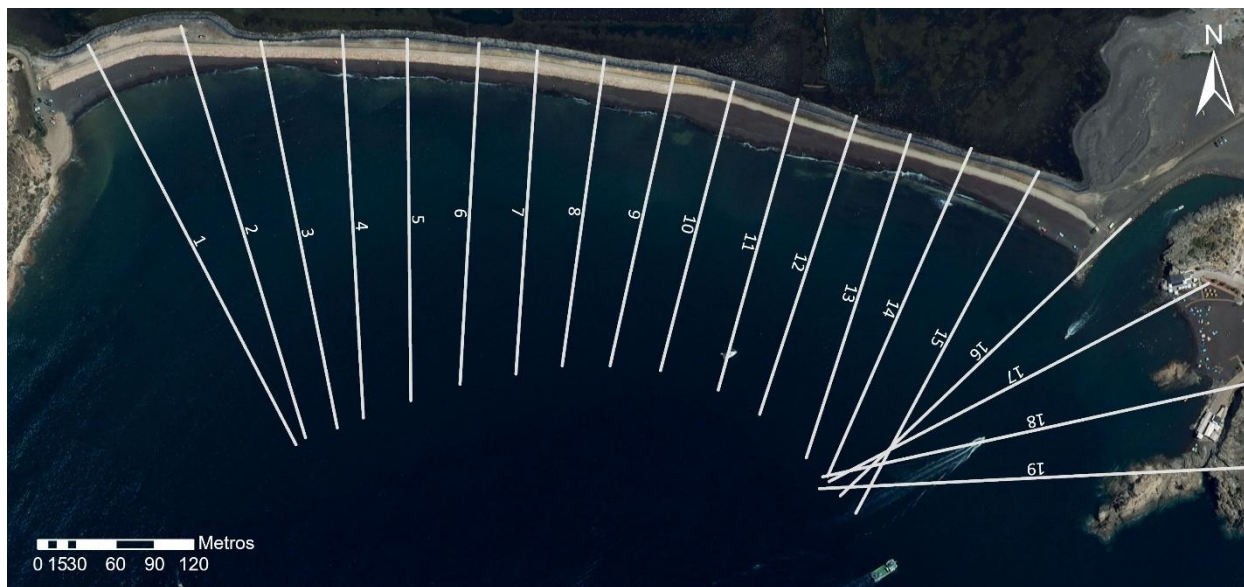


Figura 12. Ubicación de los perfiles.

Como puede verse, el avance de la orilla en zona central, perfil 9, es de 50 m, aumentando en ambos extremos, siendo el avance de 56 y 64 m en el perfil 3 y en el perfil 15 respectivamente. En total, se estima un volumen de aportación necesario de 333.585 m<sup>3</sup>.

A continuación, la Figura 13. muestra el espesor de recubrimiento cada medio metro de la alternativa 1A en toda la playa. La figura muestra cómo el espesor del recubrimiento disminuye por debajo de 1,5 m a partir de las batimétricas 0 y -1 de nueva playa. Además, entre el perfil central, el 9 y el oriental, el 15, se observa una zona donde el espesor es menor a 1 m, que se sitúa a una profundidad entre 1,5 y 2,5 m.

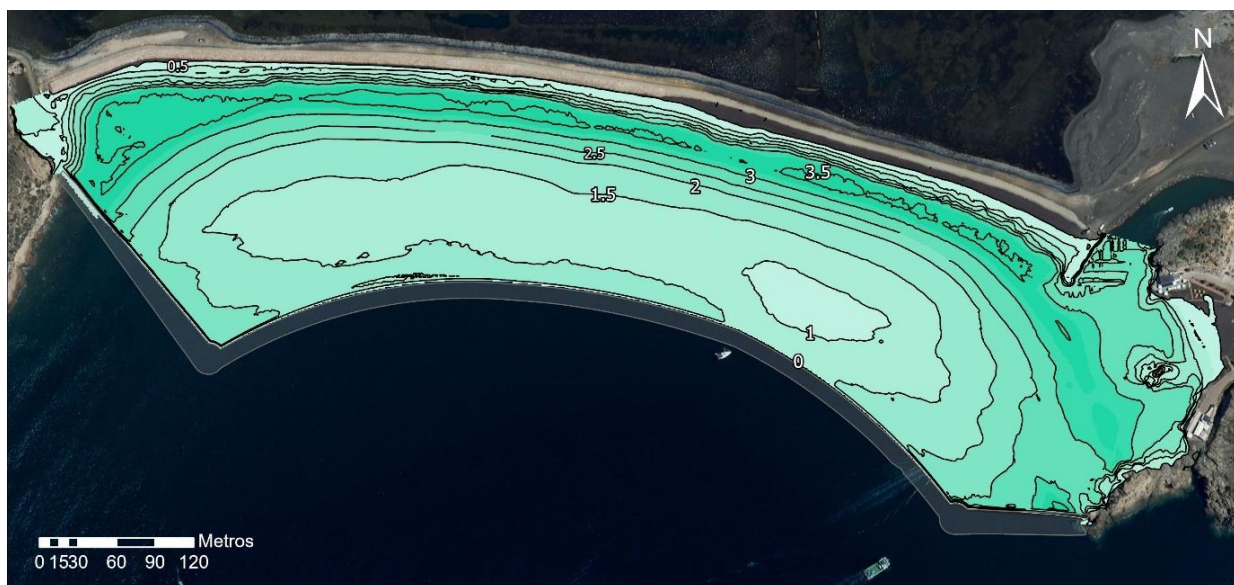


Figura 13. Espesor del recubrimiento, en m, de la Alternativa 1A.

Finalmente, la longitud de los espigones es de 188 m (poniente) y 103 m (levante), y el pie de playa tendrá aproximadamente 631 m.

### 3.1.2 ALTERNATIVA 1B

Para tratar de corregir algunos de los puntos débiles de la Alternativa 1A, se plantea esta segunda alternativa, consistente en adelantar la línea de orilla 100 m en la parte central de la playa respecto a la posición actual, con el objetivo de recubrir completamente el perfil activo de la playa, dotándolo de mayor espesor y garantizando una mayor estabilidad.

En este caso, y teniendo en cuenta el mayor avance de la línea de orilla, se propone desplazar el pie de playa a gran profundidad, para evitar la zona de pendientes tan abruptas mencionadas en el apartado 2.1.2, es decir, debería situarse a profundidad superior a 15 m, aunque en algunos puntos la pendiente no se suaviza hasta superar los 20 m. Cabe destacar que no existen muchos precedentes de obras de estas características, por las dimensiones que alcanza.

Al igual que para la Alternativa 1A, para el nuevo perfil de equilibrio se ha tomado como referencia el perfil de la playa del Castellar, que tiene una orientación similar a la de Portmán. Para adaptarlo a las condiciones específicas del entorno, se han modificado las pendientes por el método de (Vellinga, 1986), obteniendo un perfil más tendido que el de la playa original.

Como material de aportación, se ha considerado necesaria arena con  $D_{50} \approx 1 - 2$  mm, lo que dota al relleno de mayor estabilidad frente a temporales de oleaje. En cuanto al espesor del relleno, como resultado del avance se alcanza un espesor mayor de 2 m en prácticamente toda la zona activa del perfil, excepto en los dos extremos de la playa.

La forma en planta se ha obtenido siguiendo el mismo procedimiento que en la Alternativa 1A, aplicando las formulaciones empíricas de (Tan & Chiew, 1994) y (Hsu & Evans, 1989). La línea de orilla se ha trazado a partir de la dirección del flujo medio de energía del oleaje ( $194^\circ$ ), generando una parábola de equilibrio adaptada al nuevo avance.

Finalmente, y también a semejanza con el caso anterior, para garantizar la estabilidad lateral de la playa, se han proyectado dos espigones uno en cada extremo de la playa, de tipología estructural en talud y cuyos morros llegan al pie de dique en esta nueva posición, es decir que llega a la -15 m. Estos espigones tienen una longitud mayor que en la Alternativa 1, debido al mayor avance de la orilla, y cumplen la función de limitar el transporte longitudinal de sedimentos y evitar el basculamiento de la playa.

El esquema de la Alternativa 1B se muestra a continuación, en la Figura 14. (planta) y la Figura 15. (perfiles 3, 9 y 15). El resto de los perfiles, así como la posición, Figura 12., se puede consultar en el Anejo 5.

Como puede verse, el avance de la orilla en los perfiles mostrados en Figura 15. es de unos 100 m, siendo mayor en ambos extremos de la playa, (de unos 160 y 140 m en el lado occidental y oriental, ver Anejo 5), con los cuales se estima un volumen de aportación necesario de unos  $688.470 \text{ m}^3$ .

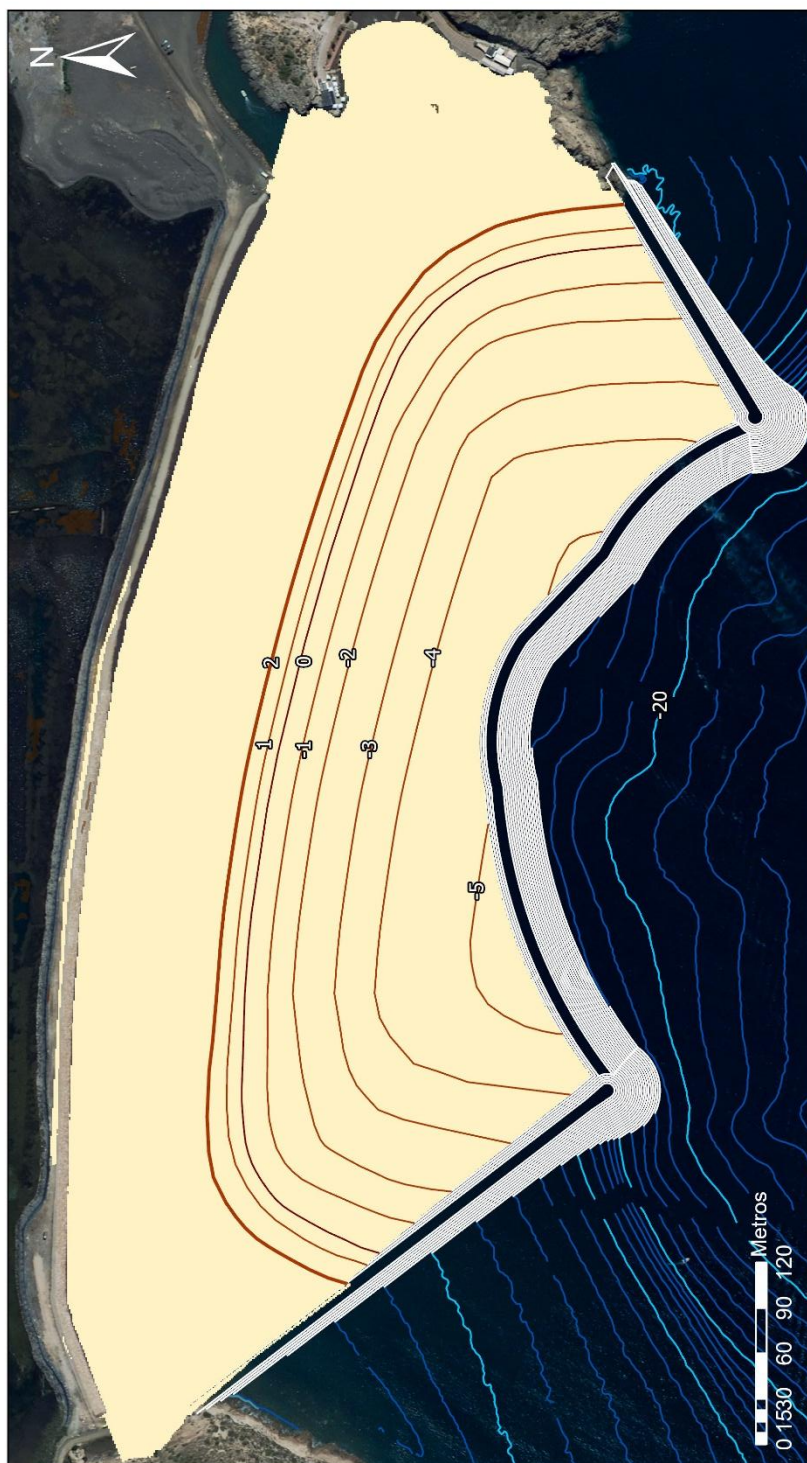


Figura 14. Vista en planta de la Alternativa 1B.

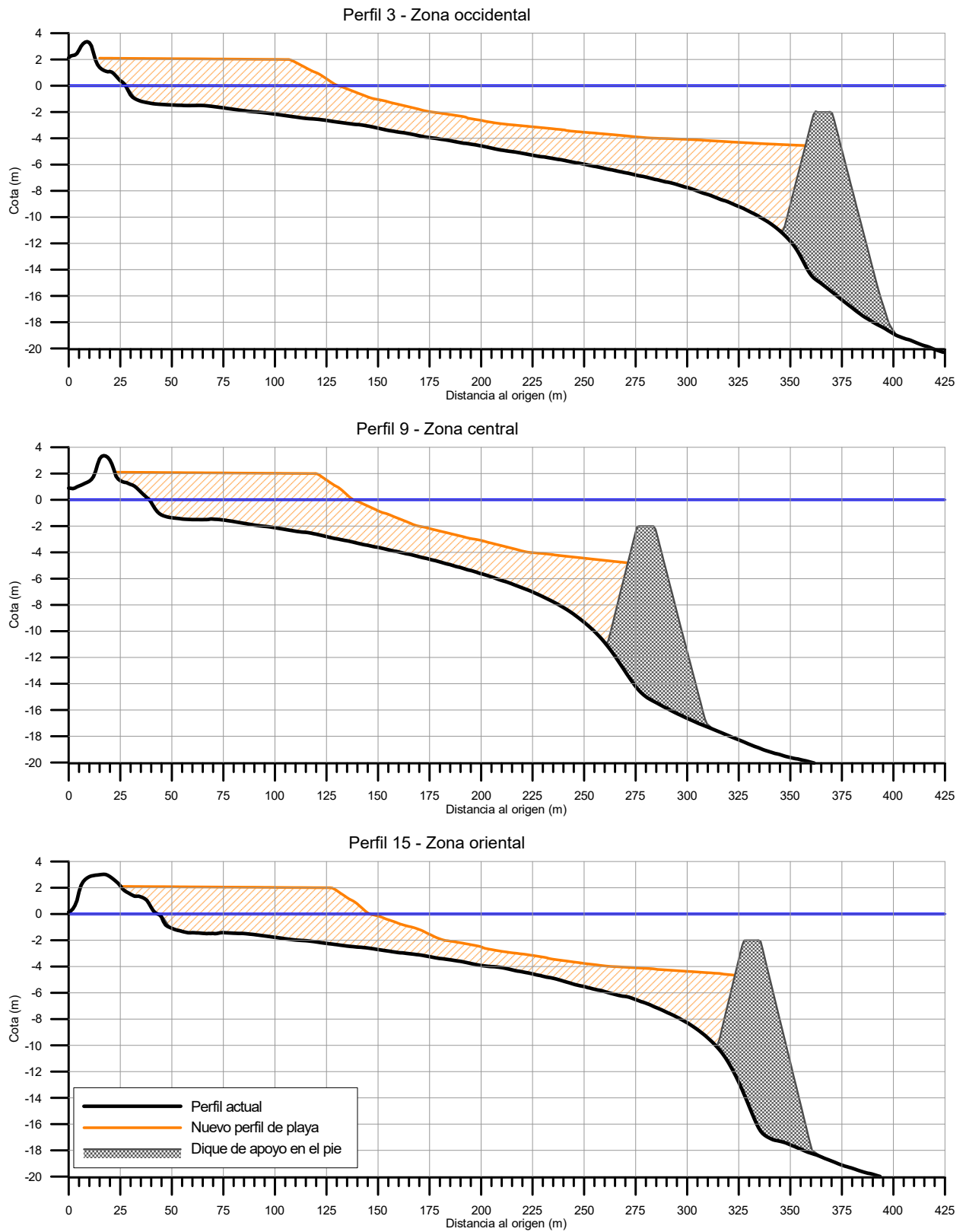


Figura 15. Perfiles 3 (zona occidental), 9 (zona central) y 15 (zona oriental) de la Alternativa 1B.

A continuación, la Figura 16. muestra el espesor de recubrimiento cada metro de la alternativa 1B en toda la playa. Se observa que el recubrimiento en general está por encima de los 2 m, y disminuye a partir de la batimétrica -2 de la nueva playa, en los dos extremos de la playa. El espesor mínimo se da en la -3, y es de unos 1,25 m.

En la Alternativa 1B, al situarse el pie de playa a tanta profundidad, se obtienen espesores de más de 3 m junto a dicha estructura. En los perfiles 3 y 15 situados en ambos extremos de la playa se observa que se ha considerado que el perfil nuevo más tendido que el perfil central, ya que se considera que en ambos extremos llegue el oleaje difractado por los espigones. Sin embargo, en ambos casos el espesor sigue siendo de 2 m (o menos en el caso del perfil oriental) desde la batimétrica -1 hasta la -2. En el perfil central el espesor de relleno en la zona activa del perfil es mayor de 2 m.

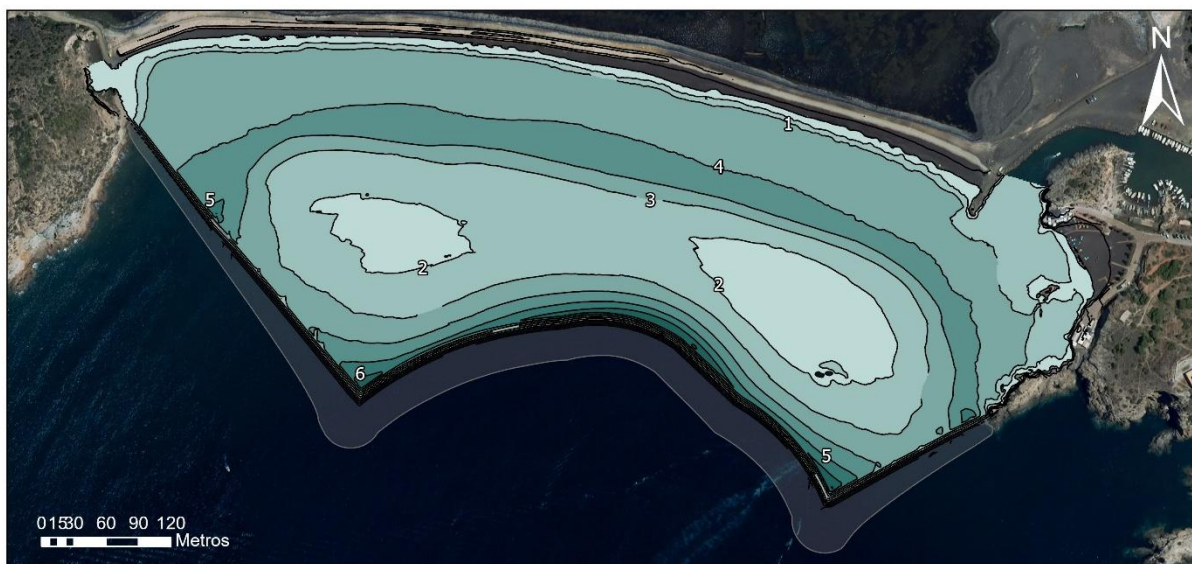


Figura 16. Espesor del recubrimiento de la Alternativa 1B

Finalmente, la longitud de los espigones es de 344 m (poniente) y 183 m (levante), y el pie de playa tendrá aproximadamente 511 m.

### 3.1.3 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS 1A Y 1B

Las dos alternativas planteadas para estabilizar de la playa de Portmán requieren infraestructuras de grandes dimensiones, especialmente en el caso de la Alternativa 1B, que dado el perfil convexo de los fondos actuales y la fuerte pendiente entre los 10 y 20 m de profundidad. A continuación, se analizan sus principales características, ventajas e inconvenientes.

#### **Alternativa 1A: avance de 50 m, pie de playa a cota -5 m, $D_{50} \approx 0,6$ mm**

Esta alternativa se basa en una intervención más contenida, con menor ocupación de lámina de agua y un volumen de aportación más reducido. El perfil se apoya en un pie de playa situado a cota -5 m, y se utiliza un material granular de tamaño medio.

#### Ventajas:

- Menor volumen de aportación. Las dimensiones de las infraestructuras de contención tienen dimensiones más pequeñas y habituales en estructuras de protección costera.
- Menor impacto inicial sobre el entorno marino.

#### Inconvenientes:

- El espesor del recubrimiento se considera reducido en algunas zonas (principalmente en el sector de levante), lo que incrementa el riesgo de afloramiento del material contaminado, especialmente en caso de basculamiento de la orilla o si se producen circulaciones perniciosas en el plano vertical (Figura 6).
- Mayor necesidad de mantenimiento periódico para reponer la salida de material fuera de la celda.

#### **Alternativa 1B: avance de 100 m, pie de playa a cota -15 m, $D_{50} \approx 1-2$ mm**

Al objeto de dotar de mayor espesor al recubrimiento, esta alternativa propone una intervención de dimensiones muy superiores a la anterior, con mayor avance de la línea de orilla, pero sobre todo con infraestructuras de apoyo de dimensiones poco habituales, debido a los condicionante expuestos en el apartado 2.1.2 (forma del perfil y pendiente de los fondos). El uso de un material más grueso permite obtener un perfil más estable frente a temporales.

#### Ventajas:

- Espesor del recubrimiento en general mayor que la alternativa 1A, lo que mejora la protección frente a la erosión, sin embargo, sigue teniendo un espesor menor a 2 m en la zona activa en ambos extremos de la playa.
- Cobertura completa del perfil activo, reduciendo el riesgo de exposición de estériles contaminados.
- El mayor  $D_{50}$  del material mejora el comportamiento frente a oleajes extremos.
- Menor necesidad de mantenimiento para reponer salidas de material fuera de la celda de actuación.

#### Inconvenientes:

- Requiere una obra de dimensiones poco habituales en obras de protección de la costa, que además alcanzan profundidades muy elevadas
- Se requiere también casi duplicar el volumen de aportación.
- Coste económico significativamente superior.
- Mayor ocupación de lámina de agua y complejidad constructiva.

Como aspecto común a las dos alternativas, pero también a cualquier otra alternativa que requiera la ejecución de obras de apoyo (espigones, diques de pie de perfil, etc.), será necesario evaluar la resistencia de los fondos, mediante estudios geotécnicos que garanticen la estabilidad de dichas obras. Para ello se recomienda basarse en la caracterización geotécnica realizada por el CEDEX, (CEDEX, 1994), ampliándose el estudio en caso de ser necesario.

### Conclusiones del análisis de las alternativas 1A y 1B

Las dos alternativas planteadas requieren avanzar la línea de costa, y también en ambos casos requieren obras marítimas de apoyo lateral y de fondo. Si bien las obras planteadas para la alternativa 1A presentan unas dimensiones habituales en actuaciones de protección costera, es posible que el recubrimiento no tenga un espesor suficiente, más aún, teniendo en cuenta los procesos hidrodinámicos asociados a obras de este tipo, y que pueden requerir importantes labores de mantenimiento (vigilancia y aportes periódicos de material para reponer las pérdidas potenciales).

Por otro lado, las dimensiones de la Alternativa 1B, poco habituales, dificultan su validación mediante criterio experto, aunque a priori garantizan una mayor estabilidad del recubrimiento. Debe tenerse en cuenta, además, que el coste de esta alternativa sería significativamente mayor que el de la Alternativa 1A.

En conclusión, se considera que para poder definir una solución viable de estabilización de la playa sería necesario contemplar la posibilidad de realizar un dragado de los fondos actuales, analizándose otras alternativas de actuación. Estas nuevas alternativas se desarrollan a partir de la alternativa 1A, descartando la alternativa 1B, y se presentan en el apartado siguiente.

## 3.2 ALTERNATIVAS CON DRAGADO

El análisis de las dos primeras alternativas evidencia la necesidad de acometer un dragado para garantizar un espesor mínimo del recubrimiento en zonas del perfil activas. Esto ha llevado a plantear dos alternativas adicionales (2A y 2B), en las que también se ha tenido en cuenta la necesidad de minimizar los volúmenes de dragado necesarios. La segunda de estas alternativas (2B) es la que considera, por indicación de la DGCM, la posibilidad de construir un puerto para uso recreativo y pesquero en el sector occidental de la playa.

Ambas alternativas están basadas en la alternativa 1A, tal como se ha mencionado en la conclusión al análisis del apartado anterior.

### 3.2.1 ALTERNATIVA 2A

Esta alternativa mantiene la configuración general de la Alternativa 1A (sin dragado y avance de la línea de orilla en torno a 50 m), pero incorpora la retirada parcial de los depósitos mineros mediante dragado para garantizar un espesor mínimo del recubrimiento en toda la zona activa del perfil. La planta general no cambia, no obstante, se presenta nuevamente en la Figura 17.

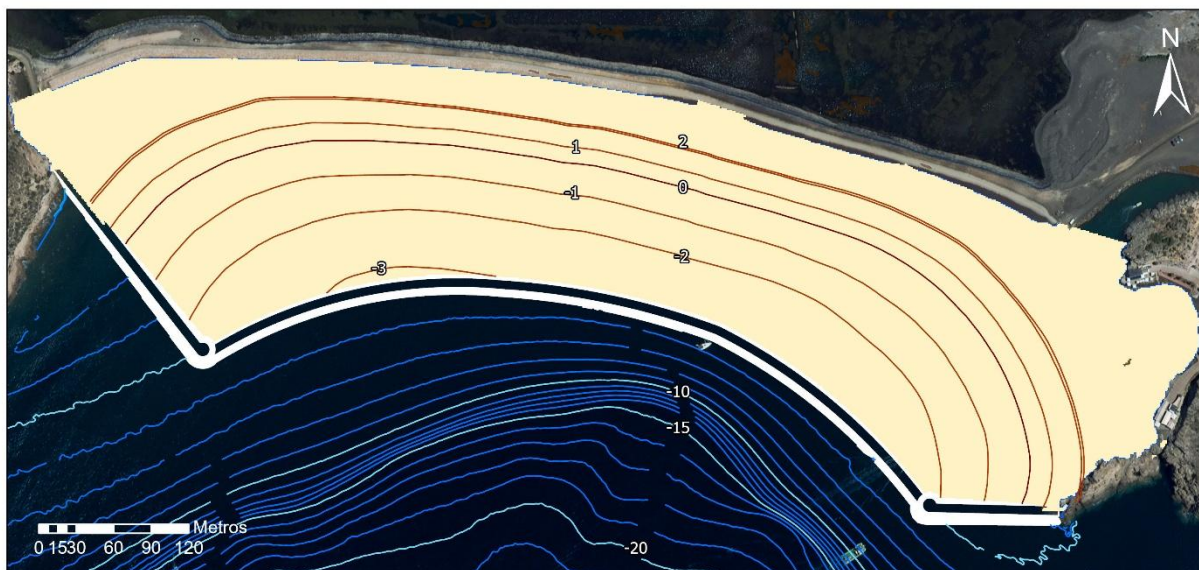


Figura 17. Vista en planta de la Alternativa 2A (idéntica a la 1A).

Para la sección, en la Figura 18 se representan los mismos tres perfiles del apartado 3.1, representativos de la zona occidental (perfil 3), central (perfil 9) y oriental de la playa (perfil 15). El resto de los perfiles se presentan en el Anejo 5.

Como puede verse, junto con los perfiles actuales de los depósitos mineros y el perfil de playa propuesto, se han representado los perfiles de dragado teniendo en cuenta las dos opciones de espesores mínimos definidas en el apartado 2.1.2.2. Se observa que, en general el dragado, empieza entre la -1 y -2 del terreno actual en ambas opciones de dragado, con una profundidad máxima de 3 m en la opción de mínimo dragado y de 3,5 m en la opción con mayor nivel de protección del recubrimiento.

A continuación, en las figuras siguientes se ha representado el espesor de dragado para la opción de mínimo dragado y para la opción con mayor nivel de protección (Figura 19), y se ha obtenido el volumen de dragado siendo de 21.594 m<sup>3</sup> y 51.363 m<sup>3</sup> respectivamente.

En ambos casos el dragado empieza aproximadamente a la -1.5 m. En ambos extremos de la playa el dragado disminuye, porque se ha supuesto que el perfil de la playa nueva tomará una pendiente menor y por tanto el recubrimiento en general crece.

En la opción de dragado mínimo, Figura 19 arriba, el dragado llega hasta la -3 m, excepto en la zona oriental que llega hasta -3,5 m con un espesor máximo de 80 cm. En el caso de la opción con más protección, Figura 19 abajo, el dragado llega hasta la -3,5 m con espesores de más de 1,25 m en varias zonas situadas en la parte occidental próxima al centro, y en la zona oriental. En ambos casos los espesores máximos de dragados se dan entorno a la batimétrica -2 m.

El volumen del material de recubrimiento es el mismo que el de la Alternativa 1A más el volumen de dragado, por lo que en la opción de mínimo dragado es de 355.179 m<sup>3</sup>, mientras que en la opción con mayor nivel de protección es de 384.948 m<sup>3</sup>.

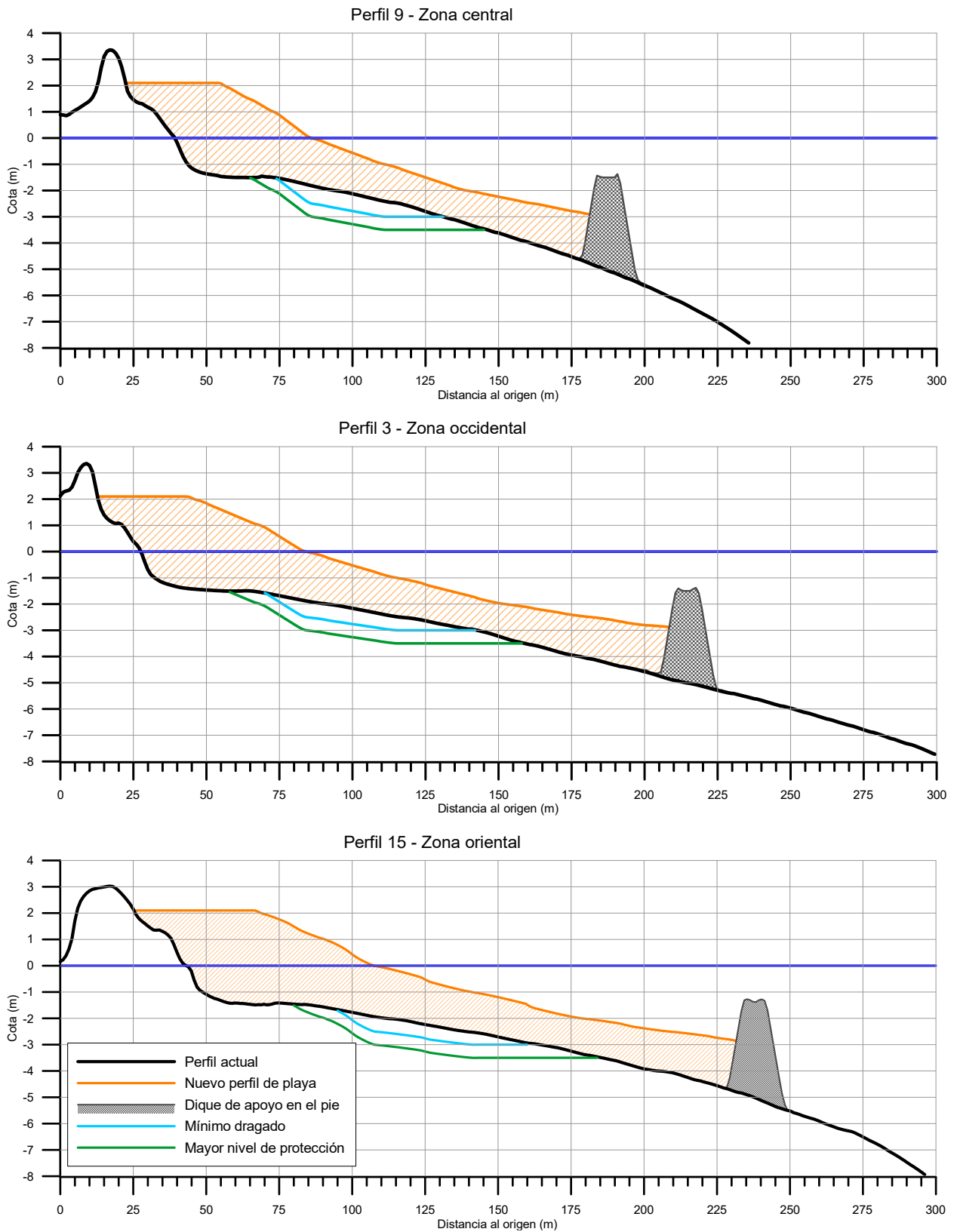


Figura 18. Perfiles 3,9 y 15 de la Alternativa 2A de la zona occidental, central y oriental respectivamente.

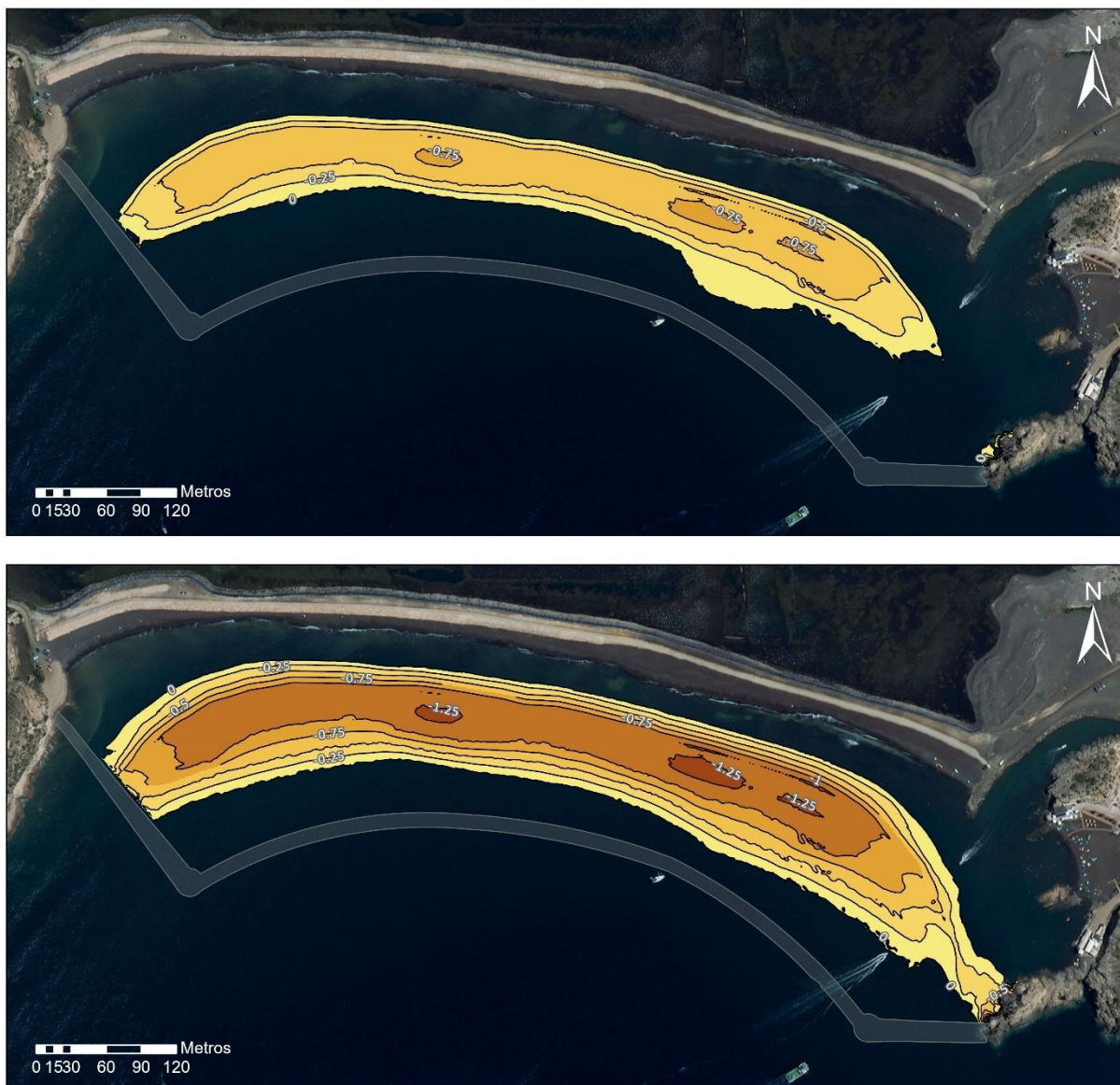


Figura 19. Espesores de dragado de la opción de mínimo dragado (arriba) y de mayor nivel de protección (abajo) de la Alternativa 2A, donde se ha representado de manera esquemática la posición de los espigones y el pie de playa

### 3.2.2 ALTERNATIVA 2B

Esta alternativa es la que considera, por indicación de la DGCM, la posibilidad de construir un puerto para uso recreativo y pesquero en el sector occidental de la playa, por lo que la playa se acorta 150 m por el oeste, donde se situaría el puerto.

Para la obtención de la orilla teórica se ha considerado un hipotético dique de abrigo del puerto, que actúa como polo de difracción modificando la línea de orilla y la playa en su extremo de poniente. Tanto la planta, los perfiles y los volúmenes obtenidos deben tomarse como provisionales ya que dependerá de la definición final de dicho dique de abrigo.

En este caso se han seleccionado los perfiles 6, 10 y 15 representativos del lado occidental, centro y oriental respectivamente, Figura 21, para consultar el resto de los perfiles ver Anejo 5

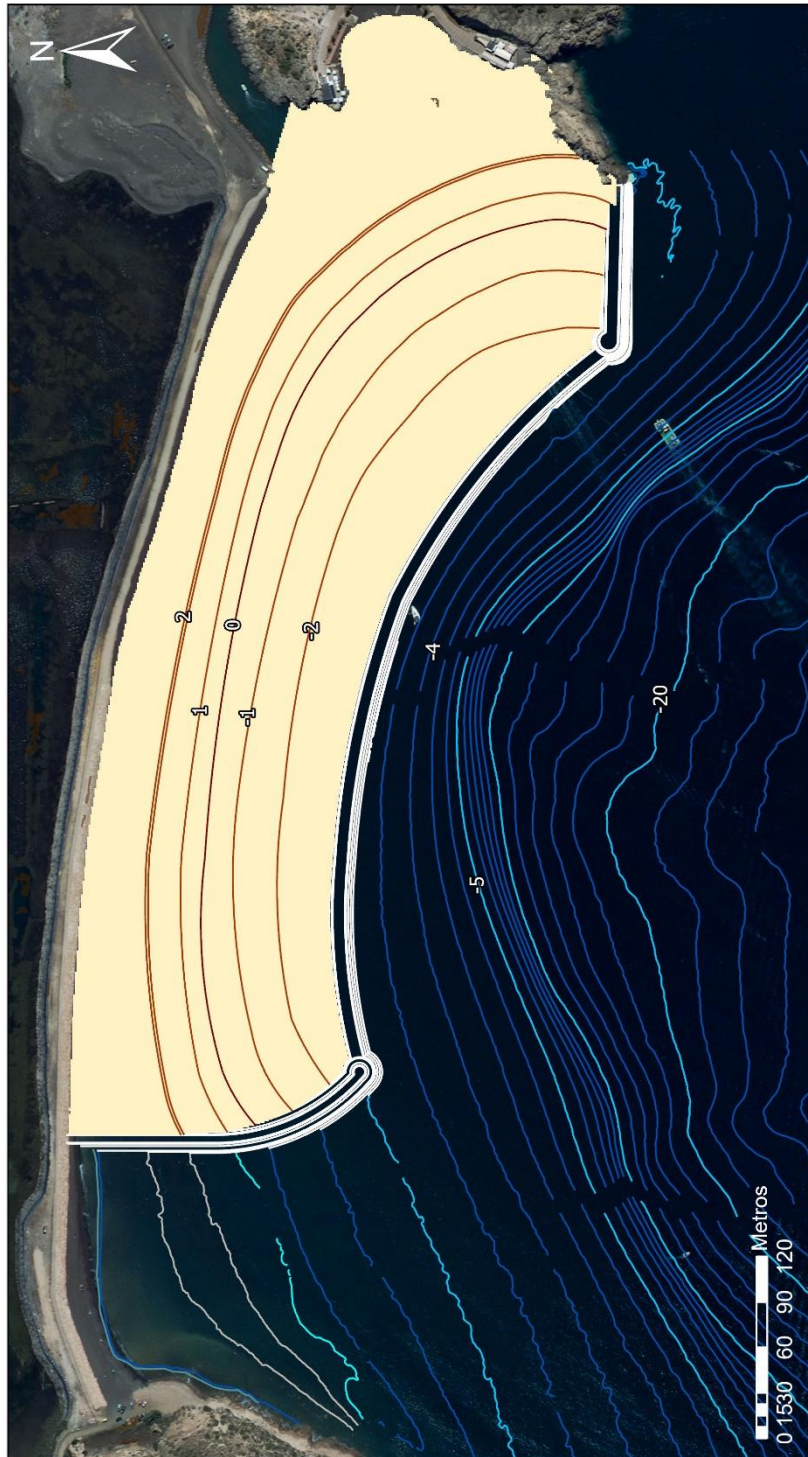


Figura 20. Vista en planta de la Alternativa 2B.

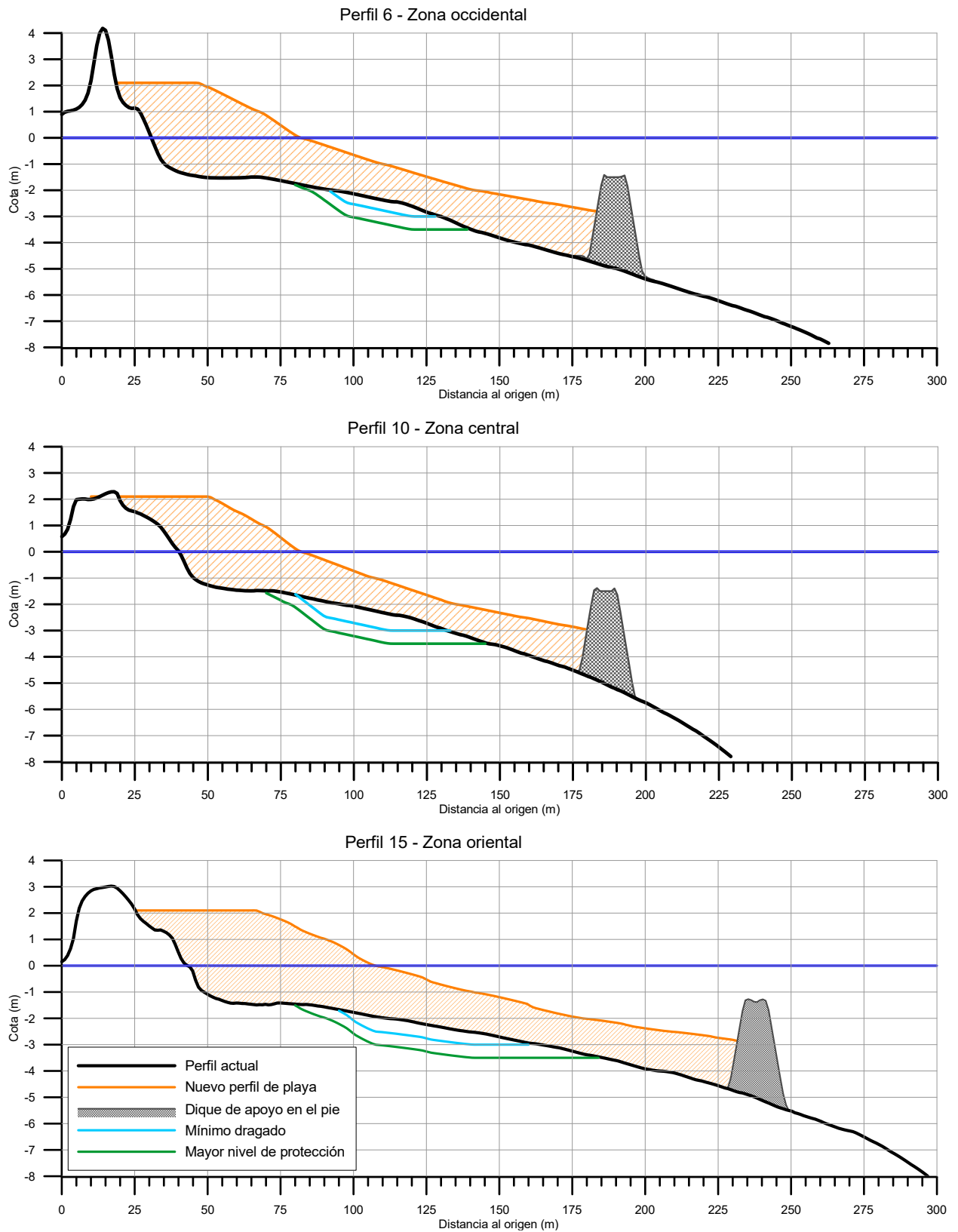


Figura 21. Perfiles 6, 10 y 15 de la Alternativa 2B de la zona occidental, central y oriental respectivamente.

Se observa que, en general el dragado, empieza entre la -1 y -2 del terreno actual en ambas opciones de dragado, con una profundidad máxima de 3 m en la opción de mínimo dragado y de 3,5 m en la opción con mayor nivel de protección.

Para determinar el volumen de material de aportación se ha obtenido en primer lugar el dispuesto entre la playa nueva y la situación actual. Hay que tener en cuenta que como se ha indicado anteriormente, la forma en planta de la playa dependerá de la localización del morro del dique de abrigo del puerto, por lo que se considera un volumen aproximado. En la configuración de la Figura 22 el volumen de aportación, sin tener en cuenta el del dragado es de 286.670 m<sup>3</sup>.

La Alternativa 2B tiene la misma configuración de la playa en la mitad oriental que el de las Alternativas 1A y 2A, por lo que el espesor de recubrimiento es el mismo. En cambio, en la mitad occidental la posición de la orilla dependerá del nuevo morro del dique de abrigo del puerto, pero en todo caso tenderá a avanzar más en el extremo por lo que se espera un mayor espesor de recubrimiento. Tal y como ocurría en la Alternativa 1A, en la zona oriental se produce la zona de espesor menor a 1 m.

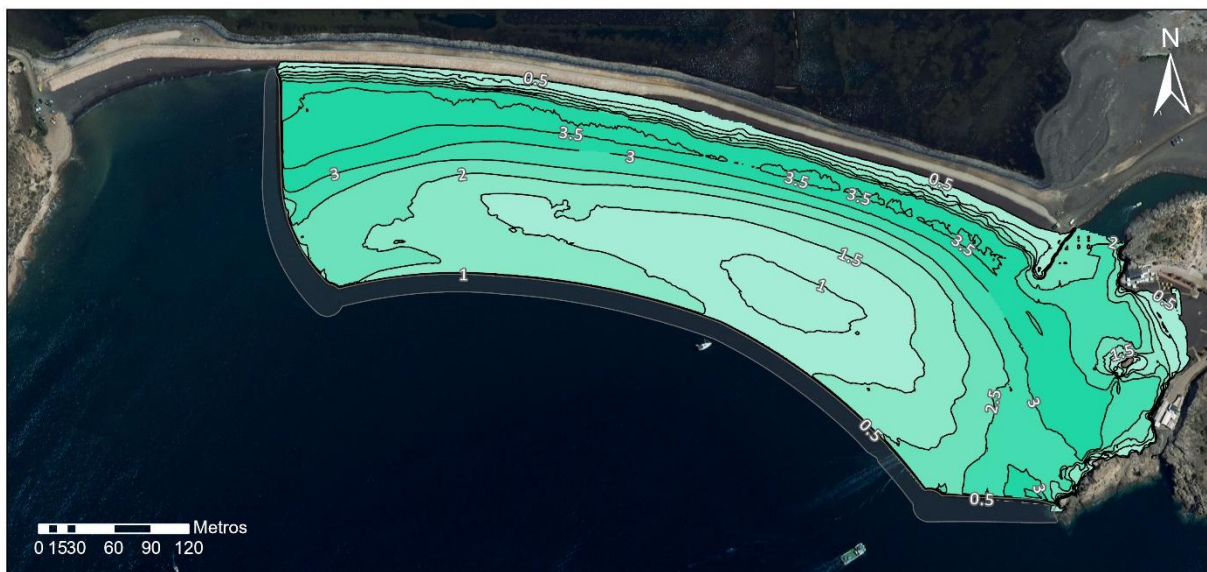


Figura 22. Espesor del recubrimiento, en m, de la Alternativa 2B.

En las figuras siguientes se ha representado el espesor de dragado para la opción de mínimo dragado (Figura 23 arriba) y para la opción de mayor nivel de protección (Figura 23 abajo), y se ha obtenido el volumen de dragado, siendo de 12.074 y 32.120 m<sup>3</sup> respectivamente. Este volumen no incluye el volumen a dragar en el puerto que se situaría al oeste de la playa.

Las dos opciones de dragado, ver Figura 23, son equivalentes a la de la Alternativa 2A en su mitad oriental, donde se producen los mayores espesores de dragado. La única diferencia con la anterior alternativa es que en el extremo occidental el dragado es menor, ya que se alcanzan espesores de recubrimiento mayores.

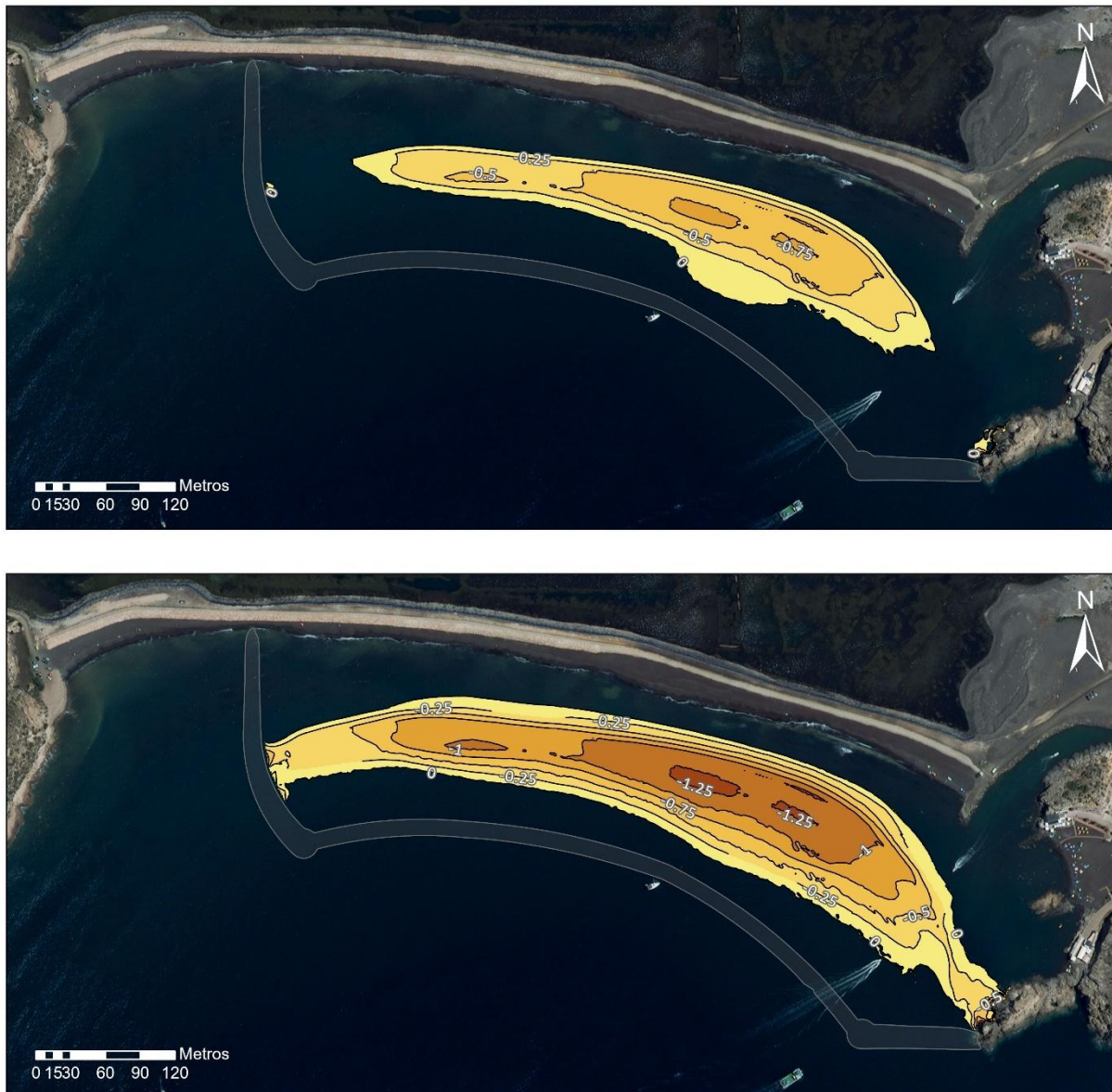


Figura 23. Espesores de dragado de la opción de mínimo dragado (arriba) y de mayor nivel de protección (abajo) de la Alternativa 2B, donde se ha representado de manera esquemática la posición de los espigones y el pie de playa

El volumen del material de recubrimiento se obtiene de la suma del material de recubrimiento hasta la situación actual (es decir el de la alternativa 1A), más el volumen de dragado, por lo que en la opción de mínimo dragado es de 298.744 m<sup>3</sup>, frente a los 318.790 m<sup>3</sup> en la opción de mayor nivel de protección.

Finalmente, la longitud de los espigones es de 206 m (poniente) y 103 m (levante), y el pie de playa tendrá aproximadamente 522 m. En esta alternativa no se han obtenido los volúmenes de dragado necesarios para la construcción del posible puerto, dado que dicha actuación no forma parte del alcance del presente informe.

### 3.2.3 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS 2A Y 2B

Las dos alternativas con dragado (2A y 2B) se plantean para corregir las limitaciones detectadas en las alternativas sin dragado, garantizando un espesor mínimo del recubrimiento en toda la zona activa del perfil, tal como se detalla en el apartado 2.1.2.2. Ambas se basan en la configuración de la Alternativa 1A, incorporando la retirada parcial de los depósitos mineros mediante dragado.

Características comunes:

- Ambas alternativas presentan mayor seguridad que la alternativa 1A, al disponer de un espesor más elevado en las zonas críticas del perfil, reduciendo el riesgo de afloramiento del material contaminado.
- La diferencia principal entre 2A y 2B radica en la longitud de la playa: la alternativa 2B acorta la actuación en el extremo occidental para permitir la construcción de un puerto para uso recreativo y pesquero, mientras que la mitad oriental mantiene la misma configuración que la alternativa 2A.
- En ambos casos se contemplan dos opciones de dragado:
  - Opción de mínimo dragado, que garantiza el espesor mínimo con la menor retirada posible.
  - Opción con mayor nivel de protección, que incrementa el espesor en la zona activa, ofreciendo mayor seguridad y reduciendo la necesidad de mantenimiento.
- Se observa que un incremento de tan solo 0,5 m en la profundidad de dragado duplica el volumen a retirar (por ejemplo, en la alternativa 2A pasa de unos 21.600 m<sup>3</sup> a más de 51.000 m<sup>3</sup>), aunque en términos absolutos siguen siendo volúmenes reducidos frente al total del relleno.

Ventajas comunes:

- Mayor espesor del recubrimiento en la zona activa, lo que mejora la protección frente a la erosión y reduce el riesgo de exposición de estériles.
- Menor necesidad de mantenimiento periódico respecto a la alternativa 1A, especialmente en la opción con mayor nivel de protección.
- Volúmenes de dragado relativamente pequeños, incluso en la opción más conservadora.

Inconvenientes:

- Requieren operaciones adicionales de dragado, aunque de complejidad moderada.
- La alternativa 2B, al reducir la longitud de la playa, limita la superficie útil respecto a la alternativa 2A, si bien esta reducción responde a condicionantes externos (posible puerto para uso recreativo y pesquero).



### **Conclusión comparativa:**

- La opción con mayor nivel de protección ofrece la solución más robusta, con menor riesgo ambiental y menor necesidad de mantenimiento, a costa de un incremento moderado del volumen de dragado.
- La opción de mínimo dragado puede considerarse adecuada si se prioriza la reducción de costes y plazos, aunque implica un mayor seguimiento y posibles aportes futuros.
- Entre las dos alternativas, la elección dependerá de los condicionantes externos: si se confirma la construcción del puerto para uso recreativo y pesquero, la alternativa 2B será la única viable; en caso contrario, la alternativa 2A proporciona mayor superficie de playa y mejor funcionalidad.

## 4. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO

### 4.1 OBJETIVOS Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO

Tal y como se ha descrito en apartados anteriores, la evolución inicial del perfil de playa incluye procesos de renaturalización y redistribución del material, así como posibles pérdidas de sedimento asociadas a la circulación forzada inducida por oleajes energéticos. Estos procesos pueden dar lugar a una disminución local del espesor del recubrimiento, particularmente en la zona activa del perfil y en los extremos de la playa, donde pequeños basculamientos pueden tener un efecto relevante.

Por este motivo, el programa de seguimiento y mantenimiento de la actuación tiene como finalidad principal verificar, a lo largo del tiempo, la estabilidad geométrica y funcional de la playa regenerada, así como garantizar la permanencia del recubrimiento de los depósitos mineros conforme a los criterios de diseño establecidos en los apartados anteriores. Este programa permitirá detectar de forma temprana posibles desviaciones respecto al comportamiento esperado de la playa y disponer de una base para la toma de decisiones en relación con la necesidad de actuaciones de mantenimiento, tal como se especifica en el apartado 4.2.

El programa de seguimiento se estructura en distintas fases, adaptando su intensidad a la evolución temporal previsible de la playa. En una primera fase, previa al inicio de las actuaciones, deberá actualizarse la topobatimetría de 2022, así como preparar los elementos y puntos de referencia para el control fotográfico de la actuación.

En la siguiente fase, inmediatamente posterior a la finalización de las obras (meses 0 a 24), el seguimiento tendrá un carácter intensivo, con el objetivo de caracterizar la evolución inicial del perfil y comprobar la adecuación del diseño ejecutado. Durante este periodo se realizarán levantamientos topobatimétricos que permitan analizar la evolución del perfil transversal y de la línea de orilla, comparándolos con la geometría de proyecto. Estos levantamientos se complementarán con inspecciones visuales, fácilmente ejecutables, sistemáticas y con apoyo fotográfico desde puntos fijos, que faciliten la detección de cambios morfológicos relevantes, tales como retrocesos del frente de playa, basculamientos o pérdidas localizadas de material.

Se prestará atención especial a las zonas críticas en términos de recubrimiento de los depósitos mineros, en particular aquellas comprendidas en la zona más activa del perfil, entre las cotas aproximadas de +2 y -1 m, donde se han definido los espesores mínimos de diseño (apartado 2.1.2.2). Así, el seguimiento permitirá comprobar si el recubrimiento mantiene su integridad o si, por el contrario, se detectan reducciones que puedan comprometer la función de aislamiento de los depósitos.

Posteriormente, el programa pasará a sendas fases de seguimiento ordinario y a largo plazo, con una menor frecuencia de controles, pero manteniendo la capacidad de detectar tendencias evolutivas a medio plazo. En estas fases, los levantamientos topobatimétricos se espaciarán en el tiempo, permitiendo evaluar la estabilidad global de la playa, la evolución del transporte longitudinal y la posible acumulación de material en zonas más profundas del perfil. La fase de largo plazo considera también la posibilidad de revisar el programa, en función de sus resultados.

## 4.2 ELEMENTOS DEL SEGUIMIENTO, MEDIDAS E INDICADORES DE ACTUACIÓN

El programa de seguimiento y mantenimiento se concibe como un instrumento para apoyar la gestión adaptativa de la actuación, permitiendo identificar de forma progresiva la necesidad de adoptar medidas correctoras o de mantenimiento en función de la evolución real de la playa regenerada. La activación de dichas medidas debe estar basada en el análisis conjunto de los resultados del seguimiento y el criterio experto, evitando la fijación de umbrales numéricos rígidos, dada la variabilidad inherente a los procesos morfodinámicos litorales.

A continuación, se resumen los principales elementos o aspectos del seguimiento, las medidas a realizar y los indicadores de seguimiento:

- **Espesor de recubrimiento:** Verificación de espesores mínimos en las distintas zonas del perfil (activa, de transición y profunda).

En este contexto, se prestará especial atención a la evolución del espesor del recubrimiento sobre los depósitos mineros, en particular en la zona activa del perfil. La detección de reducciones relevantes del espesor, que puedan comprometer la función de aislamiento de los depósitos, podrá dar lugar a la programación de aportaciones complementarias de material, priorizando actuaciones localizadas y la redistribución del sedimento existente frente a recargas generalizadas, salvo si se observaran pérdidas significativas de material.

- **Morfodinámica y forma en planta:** Levantamientos topobatimétricos, evolución de perfiles representativos, evolución de la línea de orilla y basculamiento en ambos extremos.

El análisis de la evolución en planta de la playa permitirá identificar basculamientos persistentes de la línea de orilla que, en caso de no revertirse, podrían generar pérdidas localizadas de recubrimiento en uno de los extremos de la playa. En estos casos, también se podrán plantear medidas de redistribución y, en su caso, la revisión del funcionamiento de las estructuras de contención.

- **Granulometría y estabilidad del material:** Curvas granulométricas del sedimento en las distintas zonas de la playa, en planta y en perfil; porcentaje de finos y evidencias de segregación.

El seguimiento de la variación granulométrica y de la evolución del volumen de sedimento aportado permitirá detectar procesos de pérdida acelerada de material o comportamientos no esperados según las hipótesis de diseño. En tal caso, se evaluará la necesidad de nuevas aportaciones y la adecuación de las características del material empleado en futuras recargas.

- **Integridad de obras de apoyo:** Inspecciones del pie de playa, morros de espigones y evolución.

Por último, la vigilancia de la integridad de las obras asociadas a la actuación permitirá identificar daños, asentamientos o deterioros que requieran actuaciones de conservación y reparación, garantizando la funcionalidad y durabilidad de la playa regenerada y de los elementos de contención.

### 4.3 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO

Tabla 1. Resumen de características del programa de seguimiento y mantenimiento

Fase	Actuación / Parámetro	Descripción	Frecuencia / Periodo
<b>Fase pre-operacional</b>	Estado de referencia	Batimetría completa; perfiles occidental, central y oriental (actualización de la batimetría de 2022).	Campaña inicial
	Fotomonitorización	Calibración de puntos fijos para fotomonitorización.	Campaña inicial
	Topobatimetría	Levantamientos con especial atención a perfiles occidental, central y oriental.	Trimestral (0–12 meses) Semestral (12–24 meses)
<b>Fase I – Seguimiento intensivo (meses 0–24)</b>	Fotomonitorización	Imágenes desde puntos fijos elevados; campaña adicional tras temporales significativos.	Mensual + extraordinaria
	Control de espesores de recubrimiento	Control en zonas críticas (extremos y cotas +2 a –1 m).	Trimestral (0–12 meses) Semestral (12–24 meses)
	Granulometría	Evaluación de la estabilidad granulométrica (segregación); Análisis de posibles pérdidas de material	Trimestral
	Integridad de las obras	Inspección del pie de playa y morros de espigones	Semestral
	Topobatimetría	Actualización de perfiles, línea de orilla y análisis de basculamiento.	Semestral
<b>Fase II – Seguimiento ordinario (años 2–5)</b>	Control de espesores de recubrimiento	Control en zonas críticas (extremos y cotas +2 a –1 m).	Anual
	Granulometría y pérdidas	Evaluación de la estabilidad granulométrica (segregación); Análisis de posibles pérdidas de material	Semestral
	Integridad de las obras	Inspección general y revisión tras temporales extremos.	Anual + extraordinaria
<b>Fase III – Largo plazo (&gt; 5 años)</b>	Topobatimetría	Evaluación del comportamiento general de la playa y suficiencia de los espesores mínimos.	Bienal
	Revisión del programa	Revisión de frecuencias y zonas de control en función de la evolución observada y la presión de temporales	Bienal

## 5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

### 5.1 OBJETO Y CONDICIONANTES DE LA ACTUACIÓN POR PARTE DE LA DGCM

El objetivo de este informe, de acuerdo con las indicaciones recibidas de la DGCM, es desarrollar una propuesta de actuación para la estabilización de la playa de Portmán, considerando los resultados y conclusiones obtenidos en los trabajos realizados por el CEDEX por encargo de la DGCM en 2024 y 2025, citados en el apartado 1. Para ello, se plantean soluciones orientadas a estabilizar la línea de costa, mediante el aporte de arena y la ejecución de estructuras de apoyo, eliminando o reduciendo al mínimo imprescindible el movimiento del material depositado en la bahía de Portmán. En consecuencia, únicamente se plantea el dragado de los depósitos mineros, cuando es estrictamente necesario para el cumplimiento de los objetivos principales y por el volumen mínimo indispensable.

Para abordar el objeto de este estudio, se han tenido en cuenta los siguientes condicionantes fundamentales de la actuación:

- Estabilización de la playa: debe evitarse el basculamiento que actualmente experimenta, así como considerarse la variabilidad estacional e interanual del perfil frente a la acción del oleaje, al objeto de minimizar las labores de mantenimiento.
- Recubrimiento de los depósitos mineros: se debe evitar que estos depósitos puedan alcanzar la parte emergida de la playa y quedar expuestos a la atmósfera. Para prevenirlo, se propone recubrir el perfil más activo de la playa actual con material limpio, dotándole de un espesor suficiente.
- Limitar la movilización del material depositado en la Bahía de Portman al mínimo indispensable.
- Acondicionar como playa la zona en la que se encuentra la dársena pesquera/recreativa situada a levante, ya que, de acuerdo con las indicaciones recibidas de la DGCM, en el proceso de consultas a las alternativas se han estimado las alegaciones en las que se propone la creación de un puerto en el lado occidental de la bahía. Esta actuación permitiría la continuidad entre la playa del Lastre y la de Portmán (también conocida como playa de San Bruno).
- No se aborda el diseño del puerto (condiciones de abrigo, dimensiones de la bocana, dársena, calados, disposición de pantalanés y puntos de atraque), de acuerdo con las indicaciones recibidas, dado que los puertos no declarados como de interés general son competencia de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, responsable de promover la construcción de estas instalaciones, sin perjuicio de que sea la Administración del Estado la que otorgue el correspondiente título de adscripción.

## 5.2 PRINCIPALES ELEMENTOS DE DISEÑO

### 5.2.1 ALTERNATIVAS PLANTEADAS

En relación con el dragado de los depósitos mineros, esta actuación no se ha contemplado inicialmente (alternativas 1A y 1B). Sin embargo, el análisis de dichas alternativas ha evidenciado la necesidad de acometer un dragado para garantizar un espesor mínimo del recubrimiento en zonas del perfil activas. Esto ha llevado a plantear dos alternativas adicionales (2A y 2B), en las que también se ha tenido en cuenta la necesidad de minimizar los volúmenes de dragado necesarios. La segunda de estas alternativas (2B) es la que considera, como se ha mencionado anteriormente, la posibilidad de construir un puerto para uso recreativo y pesquero en el sector occidental de la playa.

### 5.2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS

Para cubrir los depósitos mineros sin necesidad de realizar dragados, o minimizando el volumen a dragar, según cuál haya sido la alternativa planteada, se propone colocar un recubrimiento de arena limpia sobre el perfil actual, adelantando la línea de orilla 50 m (en el caso de las alternativas 1A, 2A y 2B), o 100 m en el caso de la alternativa 1B. Este recubrimiento debe tener siempre un espesor suficiente, mayor cuanto más activa es la zona del perfil.

En cuanto a la forma del nuevo perfil de playa, se ha optado por definir uno lo más realista posible, evitando utilizar perfiles teóricos que no son aplicables en este caso (por ejemplo, el perfil de Dean, más conveniente para representar la forma de las playas disipativas). Por ello, se han empleado las expresiones de (Vellinga, 1986) para obtener un perfil a partir de los perfiles de la playa de El Castellar, situada en el entorno próximo de la actuación, y cuyo tamaño de grano es solo ligeramente superior al de Portmán.

Recubrimiento con material limpio: se emplea arena de granulometría seleccionada para cubrir los estériles mineros, con tamaño de grano  $D_{50} = 0,60$  mm para las alternativas 1A, 2A y 2B, y  $D_{50} = 1-2$  mm para la 1B. Asimismo, se han considerado las pérdidas derivadas de la renaturalización del perfil y de diferencias granulométricas entre el material nativo y el de aportación, integrándolas en el programa de seguimiento y mantenimiento.

El perfil de la playa de Portmán no es cóncavo, sino convexo, probablemente como consecuencia de ser el resultado de una aportación masiva de estériles mineros. Esto implica que, para alcanzar un espesor de recubrimiento suficiente, es necesario adelantar la línea de orilla mucho más que en un perfil cóncavo. Para evitar el basculamiento excesivo de la línea de orilla y dar apoyo al nuevo perfil, se plantea la ejecución de dos espigones de apoyo lateral situados en ambos extremos de la playa.

Además, considerando también las elevadas pendientes del fondo a profundidades superiores a 5 m, es necesario construir un dique sumergido para apoyar el perfil de playa (dique denominado “pie de playa”). Estas pendientes también obligan a elegir entre construirlo a profundidades que no superen los 5-6 m en el caso de las alternativas 1A, 2A y 2B o a profundidades superiores a los 20 m (alternativa 1B). La presencia de esta estructura sumergida constituirá una barrera que dificultará que el material situado a mayor profundidad alcance la zona emergida.

Adicionalmente a estas consideraciones, para las alternativas 2A y 2B, que contemplan la posibilidad de dragar los depósitos mineros, se considera necesario definir un espesor mínimo de recubrimiento para garantizar una cobertura permanente de los depósitos mineros. Solo se considera necesario dragar los depósitos en las zonas donde el espesor del recubrimiento resultante de avanzar el nuevo perfil de playa sea inferior a este umbral mínimo.

Para definir este umbral se han tenido en cuenta los principales factores que podrían dar lugar a una pérdida del recubrimiento, entre los que destacan las diferencias entre granulometrías del material nativo y de aportación, el basculamiento de la playa y los patrones de circulación propios de las playas colgadas, aspectos descritos a lo largo del informe (apartados 2.2 y 2.3). Dada la falta de estudios científicos aplicables a este caso de estudio, para tratar de determinar un rango de espesores mínimos recomendables se ha llevado a cabo un reanálisis de los resultados del estudio “Análisis de la evolución reciente de las playas de Barcelona” (CEDEX, 2016 y 2017) resumidos en el Anejo 3 con las siguientes conclusiones aplicables para el diseño de esta actuación de Portmán:

- Zona activa (entre las cotas +2 y -1 aproximadamente): el espesor del recubrimiento debe ser mayor, estimándose necesario al menos un valor de  $e_{act} \approx 2 - 3$  m.
- Zona de acumulación (entre las cotas -1 y -3): el espesor del recubrimiento podría ser suficiente con valores de  $e_{acum} \approx 1$  m.
- Zona de transición: en esta zona se puede disminuir el espesor progresivamente, desde el valor de  $e_{act}$  hasta el valor de  $e_{acum}$ .

A partir de estas recomendaciones, se establece que un mayor nivel de protección de los depósitos implica necesariamente un incremento en el volumen de dragado. En este sentido, se proponen dos opciones: una con mayor nivel de protección y la segunda orientada a minimizar el dragado.

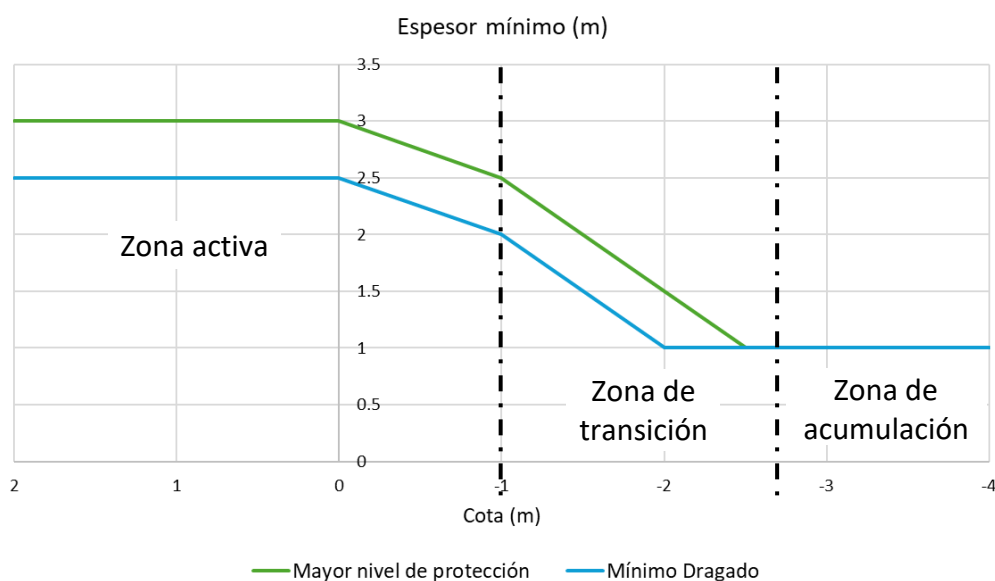


Figura 24. Alternativas de espesores de recubrimiento consideradas: opción con mayor nivel de protección y opción de dragado mínimo.



Se destaca que, a pesar de existir métodos para determinar factores de sobrellenado y sobrealimentación para compensar las diferencias de tamaños entre el material de préstamo y el árido nativo, debe tenerse en cuenta que en el caso de la actuación en la playa de Portmán no es viable incrementar el volumen de aportación, debido a que el espacio disponible se ha confinado mediante estructuras rígidas, de modo que no existe capacidad adicional para albergar un volumen superior al estrictamente definido.

Por tanto, es fundamental tener en cuenta la necesidad de realimentación, para lo cual es necesario un programa de seguimiento de la evolución de la playa, descrito en el apartado 4.

Para la determinación de línea de orilla de equilibrio más probable, considerando un avance de la línea de orilla, se aplica el método empírico de (Tan & Chiew, 1994), basado en la aproximación parabólica propuesta por (Hsu & Evans, 1989), que permite describir la evolución de una playa hacia el equilibrio estático atendiendo únicamente a la oblicuidad y dirección media del oleaje incidente.

Previo al cálculo geométrico, se analizó la rosa de oleaje local, detectándose que más del 80 % de la energía que incide en la bahía procede del tercer cuadrante, motivo por el cual se adopta como dirección morfológicamente representativa  $194,10^\circ$ , otorgando predominancia a los oleajes de componente SW.

Estabilidad geotécnica. Las alternativas propuestas en esta nota contemplan la ejecución de estructuras de apoyo. En todos los casos, será necesario realizar un análisis geotécnico detallado para comprobar la capacidad portante de los fondos y determinar las medidas necesarias para incrementar su capacidad portante, en su caso.

### 5.3 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Las alternativas propuestas se presentan con detalle en el apartado 3, presentándose a continuación un resumen de sus principales características:

Tabla 2. Resumen de características de las alternativas propuestas

Alternativa	Avance orilla* (m)	Longitud de la playa (m)	$D_{50}$ (mm)	Volumen de aportación (m <sup>3</sup> )	Volumen dragado (m <sup>3</sup> )	Longitud espigones (m)	Longitud pie de playa (m)	Observaciones sobre el espesor de recubrimiento
1A	50	900	0,60	333.585	-	188 (W)	631	Reducido
						103 (E)		
1B	100	900	1 - 2	688.470	-	344 (W)	511	Mayor que la alt. 1A, pero insuficiente
						183 (E)		
2A	50	900	0,60	355.179	21.594	188 (W)	631	Dragado mínimo
				384.948	51.363	103 (E)		Mayor protección
2B	50	770	0,60	298.744	12.074	206 (W)	522	Dragado mínimo
				318.790	32.120	103 (E)		Mayor protección

\* Se refiere a la zona central de la playa.



#### 5.4 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO

El programa de seguimiento y mantenimiento de la actuación propuesta tiene como finalidad principal verificar, a lo largo del tiempo, la estabilidad geométrica y funcional de la playa regenerada, así como garantizar la permanencia del recubrimiento de los depósitos mineros conforme a los criterios de diseño establecidos en los apartados anteriores. Este programa, desarrollado en el apartado 4, se divide en fases con intensidad decreciente y debe permitir el detectar de forma temprana posibles desviaciones respecto al comportamiento esperado de la playa y disponer de una base para la toma de decisiones en relación con la necesidad de actuaciones de mantenimiento. El programa de seguimiento se resume en el apartado 4.3.

Madrid, a fecha de la firma electrónica

La autora del informe

Melva Martín Hidalgo  
Doctora Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos  
Coordinadora de Programa Técnico – Científico

Examinado y conforme

José Francisco Sánchez González  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Director de Medio Marino

## REFERENCIAS

- CEDEX. (1994). *Caracterización Geotécnica de los residuos mineros de la Bahía de Portmán (Murcia)*.
- CEDEX. (2016). *Análisis de la evolución reciente de las playas de Barcelona*.
- CEDEX. (2017). *Análisis de la evolución reciente de las playas de Barcelona. Fase 2016*.
- CEDEX. (2024). *Ensayos en modelo físico 2D de Gran Escala con fondo móvil del Proyecto de regeneración ambiental de la Bahía de Portmán*.
- CEDEX. (2025). *Aclaraciones al informe "Ensayos en modelo físico 2d con fondo móvil del Proyecto de regeneración ambiental de la bahía de Portmán" y recomendaciones para el diseño de una solución viable*.
- Hsu, J., & Evans, C. (1989). *Parabolic bay shapes and applications*. Proc. of the Institution of Civil Engrs., 87, (2), (págs. 557 - 570).
- James, W. (1975). *Techniques in Evaluating Suitability of Borrow Material for Beach Nourishment*. U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Technical Memorandum No. 60.
- Proes, I. y. (2022). *Actualización del proyecto de regeneración y adecuación ambiental de la Bahía de Portman, T.M. de la Unión (Murcia)*.
- Tan, S., & Chiew, Y. (1994). *Analysis of Bayed Beaches in Static equilibrium*. Journal of Waterway, Ports, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 120, No 2, ASCE, 145-153.
- van der Meer, J. W. (1988). *Rock Slopes and Gravel Beaches Under Wave Attack,* Ph.D. diss. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.
- Van Gentt, M., & Pozueta, B. (2004). *Rear-side stability of rubble mound structures*. Proc. International Conference on Coastal Engineering (ICCE) 2004, vol. 4 (págs. 3481–3493). ASCE.
- Vellinga, P. (1986). *Beach and Dune Erosion during Storm Surges*. Doctoral Thesis, TU Delft.



## EQUIPO ENCARGADO DE LA ELABORACIÓN DE LOS TRABAJOS

El desarrollo de los trabajos objeto de este informe ha estado a cargo del Área de Ingeniería de Costas del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX y en su realización han participado, además de la autora del informe, las personas siguientes:

Dr. Jose María Medina Villaverde, que ha realizado el Anejo 2 “Diseño en planta”, mediante el análisis formal de datos, la propagación del oleaje a la zona de estudio, y determinación teórica de la línea de orilla, así como la propia redacción del anejo.

Ana Molina Marín, que ha intervenido a lo largo de todo el documento a través del manejo de software específico de información geográfica y publicación de gráficos avanzados, así como la realización de los MDT que han permitido determinar los volúmenes de relleno y dragado, encargándose de la visualización de mapas, perfiles y demás elementos gráficos que dan soporte a los capítulos del informe y los anejos.



CEDEX

