

Anejo 17. Cálculo del dragado

Proyecto básico de ampliación del Puerto deportivo Poble Marina
(T.M. Puebla de Farnals, Valencia)

LLORENS BUFORT, María

Valencia, Junio de 2016



ÍNDICE

1. OBJETO 3

2. MARCO NORMATIVO..... 4

3. ELECCIÓN DE LA DRAGA..... 7

 3.1. Características principales..... 9

4. PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN 14

5. MATERIAL DE RELLENO 18



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipo de dragado más adecuado según el terreno, Fuente: Obras Marítimas.....	7
Tabla 2. Comportamiento de equipos según terreno.....	8
Tabla 3. Volumen dragado zona bocana.....	16
Tabla 4. Volumen dragado zona playa.....	16
Tabla 5. Volumen dragado zona canal de navegación.....	17

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Dragas de pala por cables y por sistema hidráulico	10
Ilustración 2. Draga del puerto.	10
Ilustración 3. Draga sobre pontona del puerto	11
Ilustración 4. Draga en funcionamiento	11
Ilustración 5. Draga de succión estacionaria.....	13
Ilustración 6. Superficies de dragado.....	14
Ilustración 7. Perfiles de dragado.....	15



1. OBJETO

Las operaciones de dragado resultan esenciales para posibilitar el acceso a puerto a los buques que, cada vez, presentan mayores requerimientos de calado debido al aumento de sus dimensiones y para el desarrollo de las infraestructuras portuarias.

El presente anejo tiene por objeto la ejecución del dragado para dotar a las áreas de navegación del calado suficiente para que las embarcaciones que acceden al puerto puedan circular en condiciones de seguridad.

El material de dragado extraído durante estas actividades de dragado al estar compuesto fundamentalmente por material geológico inerte, presenta niveles de contaminación escasamente significativos, por lo que sus impactos sobre el medio marino son mínimos. Se mostrará el procedimiento de ejecución del dragado y su posterior uso en el nuevo emplazamiento como relleno hidráulico, que constituirá el apoyo del firme del nuevo muelle.



2. MARCO NORMATIVO

Atenderemos a una serie de Directrices que regulan el dragado, es necesario que para entender las que rigen actualmente en territorio español se deban citar las antecesoras.

España forma parte contratante de los Convenios Internacionales sobre vertidos al mar de Londres, Oslo-París y Barcelona, y tiene la obligación de informar anualmente a las secretarías de dichos Convenios sobre los volúmenes de materiales dragados, sus características físicas y químicas y las áreas de vertido en el mar.

En un intento de desarrollo estatal de lo especificado en estos Convenios, en el año 1994 el *Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas* (CEDEX) publicó las *“Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles”*. Las RGMD no llegaron a tener carácter normativo pero, sin embargo, han venido siendo aplicadas en la práctica totalidad de los proyectos de dragado.

A nivel estatal, las operaciones de dragado y especialmente lo que concierne a las zonas de vertido y gestión del material, así como las licencias administrativas, quedan legisladas por distintas leyes y normativas, no existiendo en ningún caso una referencia única.

Fruto de lo anteriormente expuesto, las presentes Directrices establecen los contenidos mínimos que debe incluir todo proyecto de dragado. Se incluye, asimismo, un capítulo dedicado al análisis de los permisos y autorizaciones necesarias para la gestión de los materiales en el DPMT.

La presente versión de Directrices incorpora algunas modificaciones sobre el texto original de las Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en el dominio público marítimo terrestre que fueron aprobadas por la *Comisión Interministerial de Estrategias Marinas* en su reunión ordinaria celebrada el 24 de abril de 2014 y viene a actualizar las mismas y sustituir las *“Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles”* que fueron siendo utilizadas hasta el año 2014.

Seguidamente se abordará el análisis de las normas generales que constituyen tales Directrices, utilizando *“Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre”*.

El *artículo 1* presenta que, las Directrices tienen por objeto el establecimiento de las condiciones aplicables para regular las operaciones de dragado y la reubicación de los materiales dragados en las aguas del dominio público marítimo-terrestre (DPMT).

Atendiendo al ámbito de aplicación, su *artículo 2* cita *“las condiciones establecidas en las presentes Directrices serán de aplicación en las operaciones de dragado y de reubicación de sedimentos que se lleven a cabo en las aguas del dominio público marítimo-terrestre”*, incluyendo el dominio público portuario (DPP), de acuerdo a como vienen definidos por la *Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas* y el *Real Decreto Legislativo 2/2011, de 5 de septiembre*, por el que se aprueba el texto refundido de la *Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante*.



El *artículo 3* está compuesto por definiciones para entender las diferentes Directrices, entre las más importantes encontramos:

1. Dragado de primer establecimiento: aquel realizado con fines de navegación, al objeto de aumentar o profundizar los canales de navegación y las áreas portuarias, así como creación de nuevos puertos y los realizados dentro de otros proyectos de ingeniería como excavación de zanjas para cimentación de estructuras portuarias o colocación de cables o tuberías.
2. Material dragado: cualquier material geológico y/o de naturaleza bioclástica extraído de fondos del DPMT.
3. Dragado: extracción de materiales del fondo del DPMT.
4. Dragado para rellenos portuarios: aquel realizado con el objetivo de utilizar el material para relleno de estructuras portuarias.

El *artículo 4* hace referencia al proyecto de dragado, destacando que toda actuación de dragado tendrá la consideración de obra marítima y requerirá del correspondiente proyecto, el cuál incorporará una justificación de la necesidad de ejecutar el dragado, una caracterización de la zona y un estudio de la gestión del material dragado que se realizarán de acuerdo con las presentes Directrices.

Seguidamente, el *artículo 5* presenta la justificación de la necesidad del dragado, tanto por parte del promotor que establecerá criterios como:

- a) Objetivos del dragado que se pretende realizar.
- b) Razones técnica que hacen necesaria la realización del dragado.
- c) Volumen de materiales a dragar, en metros cúbicos.
- d) Superficie afectada por el dragado, en metros cuadrados.
- e) Aportando el espesor de la zona a dragar en cada sección.
- f) Método de dragado y medidas preventivas.

También se tendrá que suministrar información si se dispone de ella, si la zona de actuación se trata de una zona anteriormente dragada y una valoración de los resultados de los seguimientos ambientales que se hayan realizado.

Se minimizará en la medida de lo posible y económicamente viable el volumen de material a dragar, el volumen de material a verter al mar y, en general, las superficies afectadas por el dragado y el vertido.

El procedimiento de gestión del material dragado se expone en el *artículo 7*, en el que destacamos que todo material a dragar estará sujeto a una caracterización preliminar que permitirá definir los procesos posteriores de su gestión. También se indicará si el material a dragar es susceptible de vertido al mar.

Se establecerán medidas preventivas y opciones de gestión del material. Con carácter general se evaluarán los posibles usos productivos, para la totalidad o la parte del material que reúna las características adecuadas, optándose por los mismos siempre que se llegue a un acuerdo entre el promotor del dragado y el órgano competente en la materia relativa al uso productivo por el que se ha optado.



Para finalizar, el *artículo 8* especifica que en aquellos materiales con ausencia de fuentes apreciables de contaminación quedarán exentos de caracterización aquellos proyectos cuyo volumen total sea igual o inferior a 10.000 m³ de los que se tenga información local acerca de la calidad del sedimento que permita asegurar razonablemente que el material no esté contaminado.

Quedarán asimismo exentos de caracterización aquellos materiales a dragar, o dentro de un proyecto de dragado aquellas zonas, cuyos materiales estuviesen constituidos exclusivamente por material geológico consolidado o no consolidado de tamaño superior a 2 mm.



3. ELECCIÓN DE LA DRAGA

Para comparar los distintos tipos de dragas y seleccionar la más óptima para nuestro dragado, deben establecerse distintos condicionantes con el fin de poder caracterizar las diferentes dragas para poder compararlas entre ellas y elegir la más adecuada. Se destacan condicionantes como emplazamiento, características del terreno, calados, volumen...

Se ha obtenido del libro de “*Obras marítimas*”, de Vicent Esteban Chapapría, una tabla conjunto de todas las dragas según algunos de estos criterios:

	Cuchara	Pala	Rosario	Succión en marcha	Cortadora	Succión estacionaria
Arena compacta				con cabeza apropiada		
Arena suelta						
Arena fangosa						
Fangos				desgasificadores		
Arcillas	sueltas o plásticas	plásticas o compactas	sueltas o plásticas			
Arena con grava						
Margas						
Rocas	voladura previa	voladura previa	voladura previa			

Tabla 1. Equipo de dragado más adecuado según el terreno, Fuente: Obras Marítimas

Los equipos en verde son los que tienen un buen funcionamiento en estas características.



	Buen comportamiento	Mal comportamiento
Cuchara	Terrenos sueltos o algo cohesivos	Terrenos fluidos o duros
Pala	Casi todos, incluso duros y compactos	Terrenos fluidos o duros
Rosario	Fangos, arcillas y arenas compactas hasta rocas blandas	Arcillas muy cohesivas
Succión en marcha	Gravas, arenas sueltas, arenas fangosas, limos, etc...	Terrenos compactos
Cortadora	Todo tipo de terreno excepto rocas duras	Rocas
Succión estacionaria	Arenas sueltas o semicompactas, fangos sueltos	Arenas compactas o cohesivas

Tabla 2. Comportamiento de equipos según terreno.

Nuestra zona a dragar se compone por limos negros arenosos, con la información de la *Tabla 1*, se analizarán los diferentes tipos que se plantean.

Las dragas de cuchara presentan ventajas como que pueden trabajar en zonas muy localizadas, cerca de estructuras, con gran precisión, pueden dragar en terrenos emergidos abriendo canal, son flexibles en cuanto a la profundidad de dragado y presentan facilidad para instalar barreras anticontaminantes. Destacamos su bajo rendimiento y su alto coste.

No se selecciona la draga de rosario de cangilones puesto que requiere un calado mínimo para dragar de 6 m, habiendo zonas para dragar con calados inferiores. Estas dragas presentan alta precisión.

La draga de succión en marcha tiene como principal ventaja su alto rendimiento, no requieren de instalación y tienen un bajo coste, autopropulsadas y buen control del dragado. Respecto a sus inconvenientes, no son aptas para dragados localizados, ya que requieren amplias zonas para maniobrar, requiere un calado mínimo y no son adecuadas para fangos tipo limo.

La draga de succión estacionaria con y sin cortador, aunque funcionen bien con el material a dragar, sus ventajas son la variedad de modelos, el bajo coste y la fácil movilización. En cuanto a inconvenientes presenta que son muy limitadas cuanto al tipo de terreno y que requieren instalar tubería, aunque para los trabajos solicitados sí que cumplirían con las expectativas.

Por tanto, se podrían escoger las dragas de pala que requieran poco calado y puedan trabajar en zonas muy localizadas, cerca de estructuras, puedan dragar en



terrenos emergidos abriendo canal, versátiles en cuanto al tipo de terreno, muy aptas para dragado en zanja y facilidad para instalar barreras anticontaminantes. Como inconvenientes están su alto coste, que existen pocas unidades en el mercado, pero puesto que el puerto actual cuenta con una para mantener el calado en bocana, se podría utilizar para el dragado del canal pero prolongaría las obras de dragado demasiado por su bajo rendimiento.

3.1. Características principales

Estas dragas están constituidas por una pala excavadora montada sobre una pontona que está fondeada mediante tres pilones metálicos que aportan la reacción necesaria al esfuerzo de excavación. Las dragas de pala pueden ser frontales (muy empleadas en EEUU) o retroexcavadoras (típicas en Europa), siendo su funcionamiento muy similar. La diferencia entre ellas reside básicamente en la orientación del cucharón y el diseño del brazo excavador. Las dragas de pala son dragas estacionarias, por lo que necesitan descargar el material en barcazas que se sitúan en los laterales del pontón. Como muestra la *Ilustración 1*, la pala puede estar articulada por cables o mediante accionamiento hidráulico. Los equipos con accionamiento por cable tienen un alcance mayor, por lo que pueden operar a profundidades superiores que las de accionamiento hidráulico, pero su construcción es menos sofisticada, el tiempo del ciclo de producción es mayor, y el coste de la instalación es muy elevado en relación a su capacidad de producción.

En nuestro caso, tenemos un contenedor para descargar el material en la misma pontona, por lo que no será necesario que haya barcazas, salvo en dichas zonas donde el material sea abundante y de esta manera tener mayor agilidad.

Sus principales características son:

- La profundidad de dragado está limitada: normalmente 10-15 m. Las dragas de mayor porte alcanzan los 35 m.
- Realizan el vertido sobre gánguiles abarloados a la pontona.
- El calado necesario para dragar viene determinado por el calado de la pontona, generalmente en torno a 3 m, o por el calado del gánguil, que puede ser superior al de la pontona.
- Pueden dragar abriendo canal en terrenos de poco calado o emergidos.
- No pueden trabajar con $H_s > 1$ m.
- Tienen capacidad para dragar materiales de naturaleza muy variable: desde fangos a rocas blandas, así como grandes bolos, escolleras y estructuras previamente quebrantadas.
- Son equipos que tienen alto coste por metro cúbico dragado.
- Las capacidades de los cazos de las palas se determinan en función de la máquina que las acciona y del terreno a excavar, variando entre 2 y 25 m³.

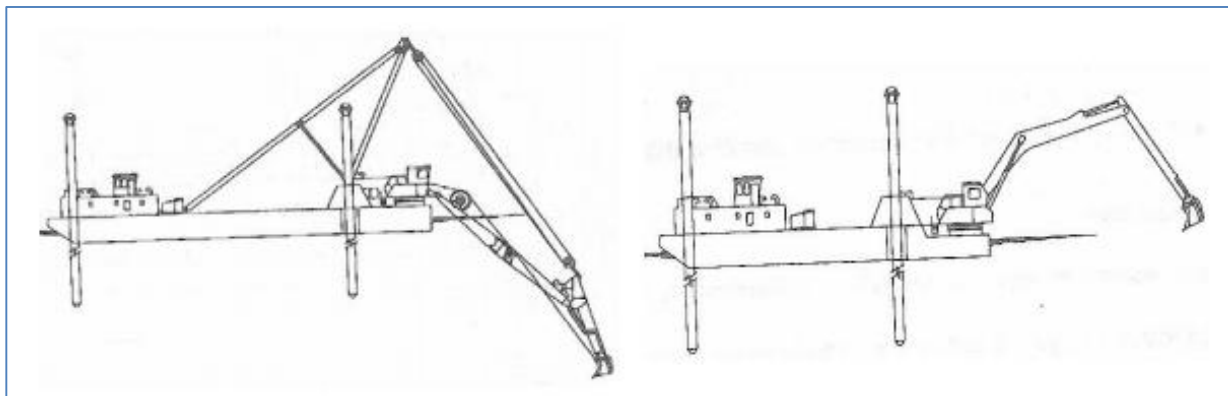


Ilustración 1. Dragas de pala por cables y por sistema hidráulico

A continuación adjuntamos algunas fotos de la draga mecánica de pala que tenemos a disposición en el puerto:



Ilustración 2. Draga del puerto.

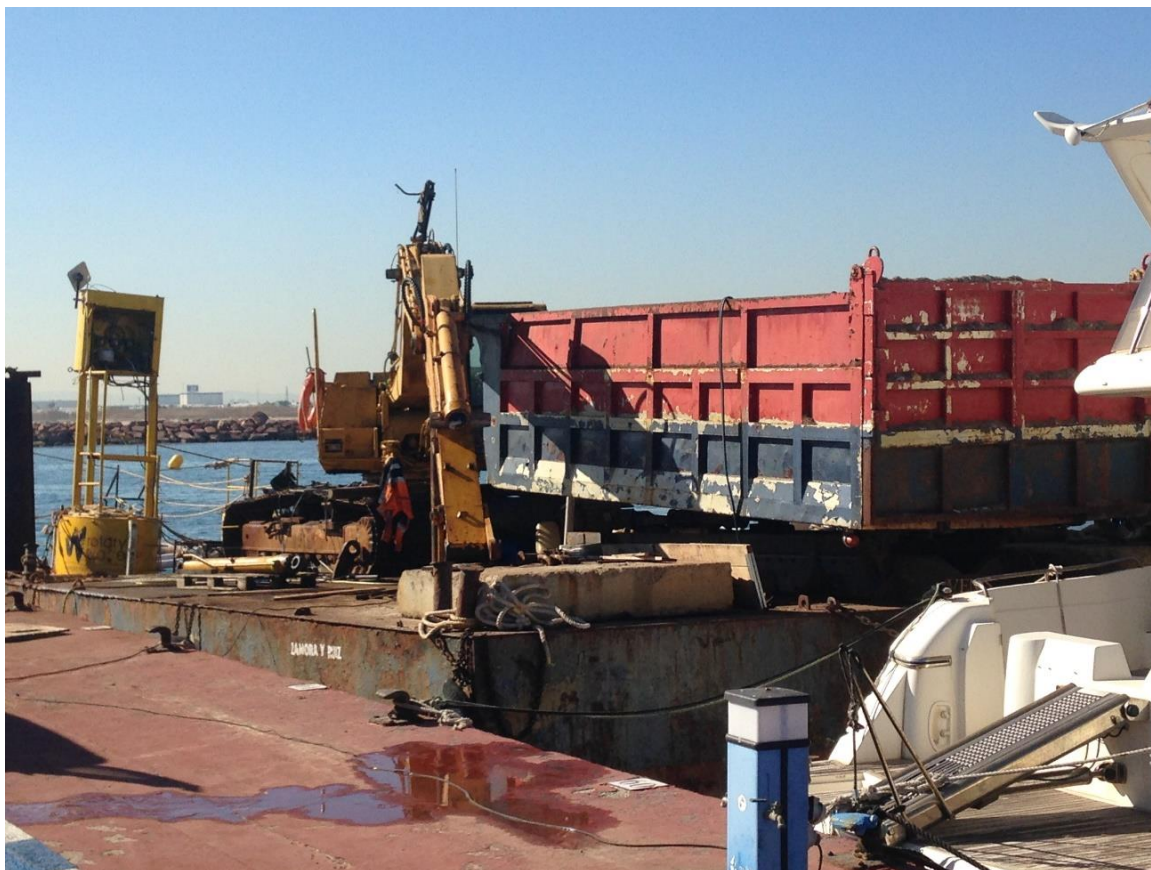


Ilustración 3. Draga sobre pontona del puerto

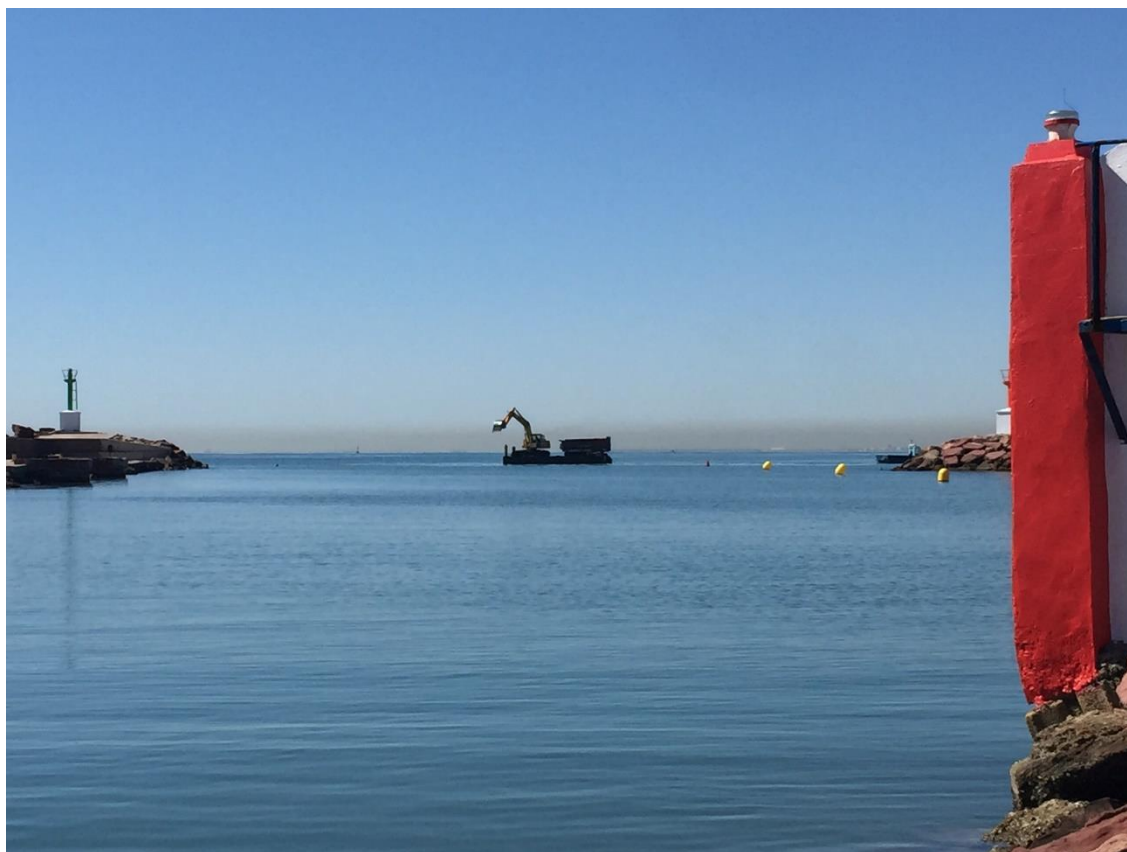


Ilustración 4. Draga en funcionamiento



Con lo anteriormente nombrado y atendiendo a las características propias de la draga del puerto en particular, se cree conveniente el contratar otra draga adicional que ayude al dragado, ya que se trata de unos 140.000 m³. El rendimiento de la draga mecánica del puerto es de 400 m³/día que es insuficiente para tanto volumen, pues se llevaría a cabo a lo largo de un año. Para reducir los tiempos de dragado se contratará una draga de succión estacionaria con un rendimiento de 2500 m³/día. Trabajaría en diferentes turnos durante 24 horas, ya que al ser alquilada no conviene que no esté funcionando.

La draga mecánica seguiría haciendo las funciones de mantenimiento en el puerto y haría el dragado de cimentación y el enrase en la ejecución del muelle y del pantalán.

Se ha decidido esta draga porque reúne las características adecuadas para poder llevar a cabo el dragado que se contempla. Las dragas de succión estacionaria se quedan en un lugar y comienzan el dragado, es decir no se mueven, por otro lado estas dragas, generalmente no cuentan con cántaras sino que requieren de máquinas unidas a la embarcación para el transporte del material, o bien un bombeo del material mediante tubería. Están indicadas para el mantenimiento de puertos, canales de nivelación entre otros. Para realizar el dragado estas dragas necesitan una profundidad mínima que oscila a 3 metros aproximadamente y puede trabajar hasta 50 metros de profundidad. Una vez se encuentran estas máquinas, asistidas por un remolcador, en el lugar a dragar se bajan los tubos de succión y comienza la operación, donde accionan chorros de agua para la dilución del material y el dragado de manera más sencillas. Todo el material extraído se depositará en la playa de Massamagrell, situada al sur de nuestra playa, ya que es un relleno de playa que servirá para minorar la recesión de la nombrada.

Estas dragas poseen ciertas ventajas como que son efectivas para remover superficies de pequeñas y grandes áreas y es muy independiente. A continuación se muestra una imagen.

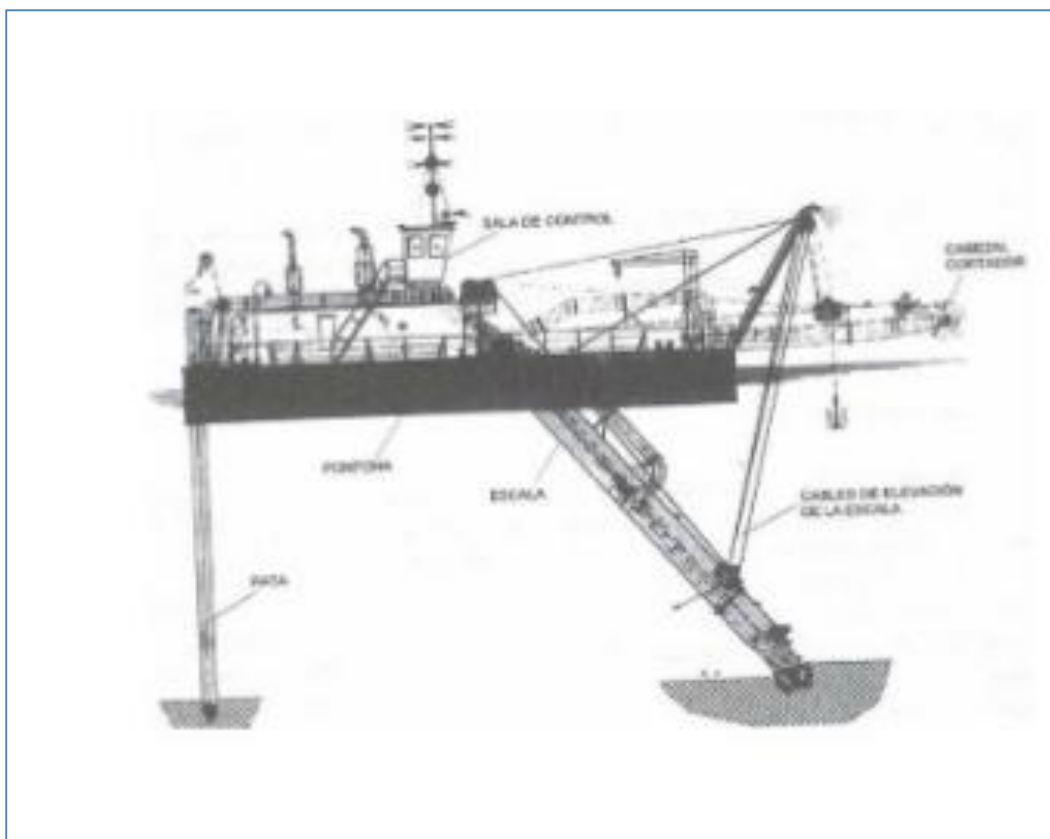


Ilustración 5. Draga de succión estacionaria



4. PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN

Previo a la ejecución del dragado es necesario retirar del fondo marino los diversos objetos que están ahí en la actualidad (neumáticos, cables, bloques...). Se realizarán dos tipos de dragado diferenciados:

- **Dragado limpieza:** aquel cuyo único objeto es la retirada deliberada de material contaminado del fondo marino con el propósito de protección de la salud humana o el medio ambiente.
- **Dragado de primer establecimiento:** aquel realizado con fines de navegación, al objeto de aumentar o profundizar los canales de navegación y las áreas portuarias, así como creación de nuevos puertos y los realizados dentro de otros proyectos de ingeniería como excavación de zanjas para cimentación de estructuras portuarias o colocación de cables o tuberías.

Para empezar, hemos dividido toda la zona a dragar en tres grupos:

1. Zona de la bocana
2. Playa Sur
3. Canal interior

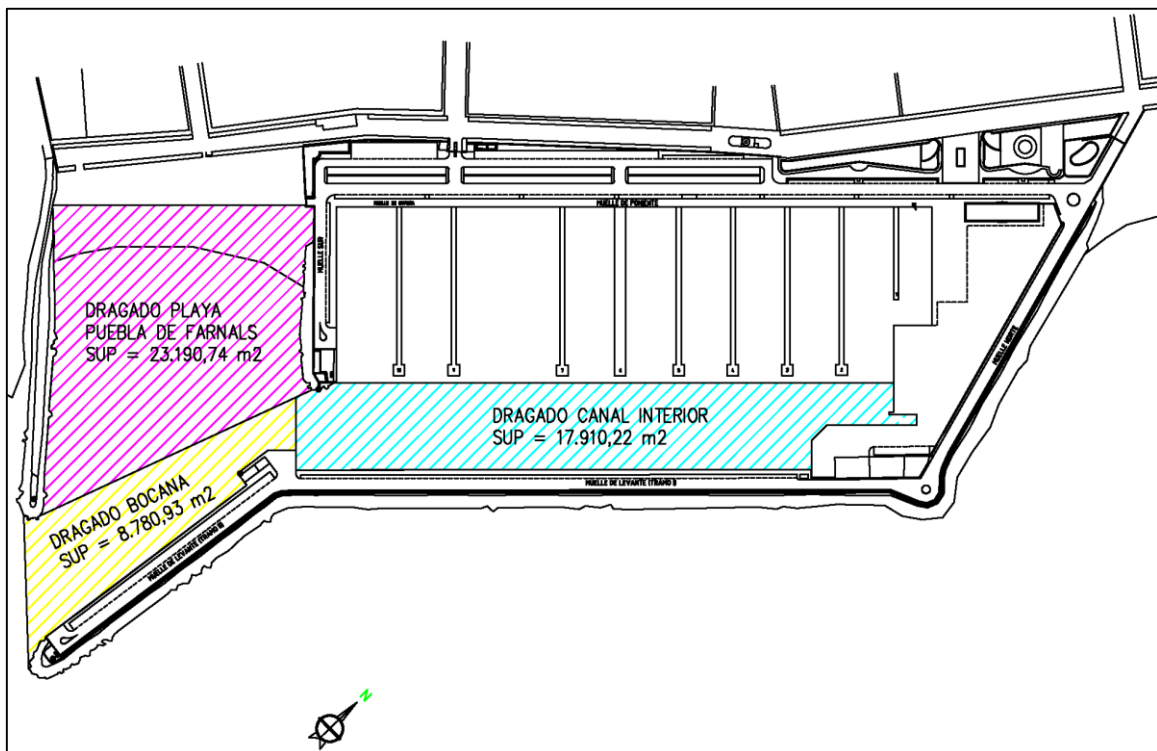


Ilustración 6. Superficies de dragado

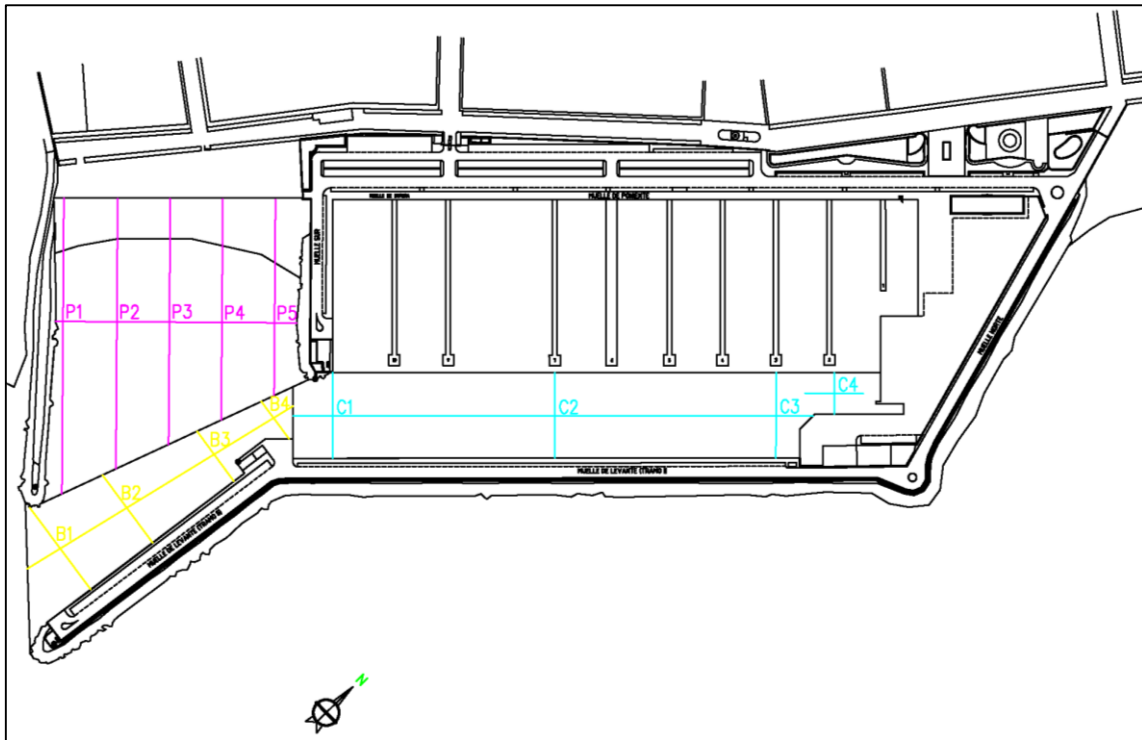


Ilustración 7. Perfiles de dragado

Primero se realizará un dragado de limpieza en toda la zona a dragar, para evitar que el material extraído tenga objetos que nos impidan utilizarlo como material de relleno.

Empezaremos dragando desde la bocana, para calcularnos el volumen de dragado se han utilizado cuatro perfiles, tal y como indica el plano anterior. Se avanzará desde la bocana del espigón hacia la bocana interior. Este dragado lo se ejecuta para permitir la entrada a las embarcaciones de 24 m, antes la bocana no estaba preparada para dar paso a éstas. Todo el calado final en la zona a dragar será de 4,7 m. En todo momento se dejará un talud de 2H:1V en la parte del dique de Levante tramo II para no dañar la estructura.

A continuación se pasará al dragado de la playa, es el más complicado ya que los cinco perfiles que se han creado son de diferente longitud, alargándose el más pequeño situado inmediatamente después del contradique 122 m hacia la playa, mientras que el que se sitúa al lado del espigón llega hasta los 183 m. Estas distancias se han calculado manteniendo la misma alineación del muelle de Poniente sumándole un metro para que el muelle nuevo tenga una tipología de muelle de bloques, para evitar posibles problemas citados en anteriores anejos.

Este dragado, permitirá construir un nuevo pantalán que dará amarre a 30 nuevas embarcaciones y la prolongación del muelle de Poniente. También se atenderá a un talud para no dañar las estructuras en funcionamiento, en este caso será de 2H:1V en la parte donde se situará la prolongación del muelle de Poniente.



Para finalizar, se dragará el canal interior para que las embarcaciones que utilicen mayor calado puedan acceder a la zona de carena para posibles reparaciones. También se dragará hasta 4,7 m y para el cálculo del material dragado se han utilizado 4 perfiles, se hará según un dragado en zanja, siendo la base de la zanja de 52 m y los taludes a adoptar de 2H:1V en la parte del muelle de Levante y de 4H:3V en la zona de los pantalanes.

Todos los perfiles citados se observan con mejor detalle en “*Planos 12. Perfiles dragado bocana*”, “*Plano 13. Perfiles dragado playa*” y “*Plano 14. Perfiles dragado canal de navegación*”.

A continuación, se muestran las tablas de cálculo extraídas de estos perfiles para cuantificar el volumen de dragado en cada zona del puerto.

ZONA BOCANA			
PERFIL	ÁREA	SEPARACIÓN	VOLUMEN
B1	96,20	48,00	4.617,60
B2	65,63	55,80	3.662,15
B3	60,87	53,20	3.238,28
B4	47,76	36,00	1.719,36
VOLUMEN TOTAL (m³)			13.237,40
SUPERFICIE TOTAL (m²)			8.780,93

Tabla 3. Volumen dragado zona bocana

ZONA PLAYA SUR			
PERFIL	ÁREA	SEPARACIÓN	VOLUMEN
P1	837,36	21,30	17.835,77
P2	692,53	32,50	22.507,23
P3	604,51	32,50	19.646,58
P4	540,49	32,50	17.565,93
P5	497,51	30,00	14.925,30
VOLUMEN TOTAL (m³)			92.480,79
SUPERFICIE TOTAL (m²)			23.190,74

Tabla 4. Volumen dragado zona playa



ZONA CANAL DE NAVEGACIÓN			
PERFIL	ÁREA	SEPARACIÓN	VOLUMEN
C1	100,00	93,20	9.320,00
C2	95,45	137,00	13.076,65
C3	95,57	92,30	8.821,11
C4	40,23	41,00	1.649,43
VOLUMEN TOTAL (m³)			32.867,19
SUPERFICIE TOTAL (m²)			17.910,22

Tabla 5. Volumen dragado zona canal de navegación

Por lo que el volumen total a extraer será la suma del dragado en las tres zonas diferenciadas, el cual resulta de **138.585,38 m³**.



5. MATERIAL DE RELLENO

Todo el material dragado se podrá utilizar como material de relleno, es decir, como relleno hidráulico, el cual es conseguido mediante un proceso de sedimentación de partículas sólidas contenidas en un efluente que procede del dragado.

Los rellenos hidráulicos son los que posiblemente presentan más a menudo la mejor relación calidad/precio. Como ocurre con todos los rellenos portuarios, sus excesivos asentamientos y sus deficiencias de capacidad de soporte son más debidas a los fondos (donde se encuentran materiales fangosos) que inherentes al propio relleno. Dado que una parte del relleno se encuentra sumergida por debajo del nivel del mar, para mejorar sus características resistentes y de deformabilidad no se pueden emplear los habituales métodos de compactación con los medios mecánicos, debiéndose de utilizar otras mejoras de terreno como la precarga o la compactación dinámica.

Todo aquel material extraído y no usado como relleno hidráulico se aprovechará para la regeneración de la playa que se sitúa inmediatamente al sur de la bocana. Tanto la draga estacionaria como la mecánica depositarán el material dragado, desde una posición adecuada para mejorar los sedimentos y minorar su recesión, la estacionaria recurrirá a un sistema de impulsión por tubería desde cántara, que eliminará los tiempos de carga y descarga.

