

Proyecto y Construcción de Obras Marítimas

Apuntes de Clase

María Clavero & Miguel Ortega-Sánchez

Grado en Ingeniería Civil

ETSI Caminos, Canales y Puertos

Universidad de Granada

Índice general

Índice general	III
1. Introducción	1
2. Proyecto de las obras de abrigo	3
2.1. Algunas recomendaciones sobre el proyecto de obras marítimas	4
3. Maquinaria específica en construcción de obras marítimas	7
3.1. Equipo marítimo	7
3.1.1. Dragas	7
3.1.2. Gánguiles	10
3.1.3. Pontonas	11
3.1.4. Cabrias	11
3.2. Equipo terrestre	14
3.2.1. Grúas	14
3.2.2. Maquinaria para el movimiento de tierras	16
3.3. Sistemas de posicionamiento	17
4. Construcción de los distintos tipos de obras de abrigo	19
4.1. Diques en talud	19
4.2. Diques verticales	26
4.3. Diques mixtos	43

Capítulo 1

Introducción

Debido al auge del transporte marítimo en España y en todo el mundo, los puertos han de atender cada vez más buques y de mayor calado, lo que obliga a realizar las obras en profundidades mayores encontrándose más expuestas a los agentes marinos. En estas condiciones los costes de construcción son muy elevados porque requieren mayor cantidad de materiales y se precisa una tecnología muy avanzada. Además, la falta de protección, especialmente frente al oleaje y el viento, cuyo carácter es aleatorio, hacen del proceso constructivo una tarea arriesgada.

El diseño, construcción y mantenimiento de obras portuarias en España se realiza siguiendo las directrices y recomendaciones marcadas por las Recomendaciones para Obras Marítimas (Serie ROM). Estas recomendaciones proporcionan un conjunto de normas y criterios técnicos de carácter general de aplicación en todas las fases de una obra marítima y portuaria cuyo objetivo es garantizar la fiabilidad, funcionalidad y operatividad de la misma. No abordan, sin embargo, los aspectos particulares de la construcción. Estas normativas se encuentran en continuo proceso de actualización, e igualmente otras se encuentran en proceso de redacción (p.ej. ROM 1.1 sobre cálculo de diques).

Por otro lado, en la planificación y ejecución de una obra es difícil prever la ocurrencia de estados de mar que obliguen a suspender la ejecución o generen fallos en la estructura. Por esta razón, la protección de las partes más vulnerables es una actividad que pocas veces se realiza con éxito, lo que origina daños en la parte ejecutada y aumenta los costes por pérdida de material y por las labores de reconstrucción.

A la hora de hacer el plan de obra es necesario analizar ciertos condicionantes. Destacan por su importancia los requerimientos funcionales de la obra, las condiciones físicas (geología, topografía, oleaje...), datos técnicos (propiedades de los materiales, naturaleza de los posibles fallos,...), construcción de la obra, mantenimiento, factores económicos, sociales y medioambientales. Por tanto, se han de estudiar a fondo los posibles riesgos que conlleva la construcción de una obra de estas características y dimensiones.



Figura 1.1: Daño en el dique en talud del Puerto de Gijón producido por una tormenta durante su ejecución.

Proyecto de las obras de abrigo

La función básica de las obras de abrigo es proporcionar a las instalaciones portuarias suficiente abrigo frente al oleaje exterior, de manera que los niveles de agitación interior en las diferentes zonas (canal de acceso o navegación, atraques, zonas de fondeo, etc.) sean lo suficientemente pequeños para asegurar su operatividad. Generalmente se dispone un dique principal y un contradique situado a resguardo del primero respecto a los oleajes dominantes. La bocana del puerto, debe ser tal que se asegure una anchura y orientación del canal de navegación adecuada para permitir la entrada y salida segura de los mayores buques que puedan atracar en el puerto.

Los diques de abrigo habitualmente se ubican en zonas relacionadas con:

Bocana: entrada al puerto, con frecuencia limitada por diques de abrigo que reducen la energía del oleaje que penetra en el fondeadero u otras partes del puerto.

Canal de navegación: en este canal el barco navega para entrar al puerto y constituye la zona de máxima seguridad para la navegación y para que el barco pueda detenerse en su recorrido antes de iniciar las maniobras de atraque.

Fondeadero: es la zona donde el barco puede esperar turno para entrar a ocupar un sitio en el muelle (puesto de atraque), mantiene cuarentena o queda en espera de órdenes de la capitania.

Los proyectos de las obras de abrigo se rigen, mayormente, por las Recomendaciones de Obras Marítimas que se expusieron previamente que, si bien no son de obligado cumplimiento, deben ser usadas. Otras partes del proyecto y obra son similares a otros aspectos de Ingeniería, como pueden ser instalaciones, servicios, etc. A continuación se resumen los principales documentos que componen un proyecto de dique de abrigo y las diferencias/semelanzas con otras obras de la ingeniería civil.

Documento nº1: Memoria y Anejos - la memoria no presenta diferencias significativas respecto a otros proyectos de ingeniería. En relación con los anejos, algunas diferencias son:

- Topografía y **batimetría:** la batimetría es un aspecto específico de una obra marítima. Se deben realizar campañas batimétricas de detalle para caracterizar los fondos tanto de la zona donde se ubicará la obra como de su entorno.
- Geología y geotecnia: no presenta grandes diferencias respecto a otros proyectos, con la salvedad de caracterizar el fondo marino.
- Clima marítimo y propagación de oleaje: son anejos específicos de los proyectos marítimos. Implican una profunda caracterización del clima marítimo, así como un análisis detallado del oleaje en el entorno del emplazamiento de la obra.
- Estudio de maniobrabilidad o de navegación: igualmente es específico para cada obra marítima. Un correcto diseño en planta debe garantizar que la navegación se puede realizar según lo que establece la normativa.

- Estudio de agitación y ondas largas: se debe verificar que la agitación dentro de la dársena se encuentra en los umbrales previamente fijados. Este análisis se puede realizar mediante modelado numérico y físico. El estudio de ondas largas debe analizar la posible resonancia de la dársena.
- Ensayos en modelo reducido: tanto para el diseño en planta del puerto como para la verificación de las secciones tipo de las estructuras es necesario completar los estudios con modelado en laboratorio.
- Pavimentos: debe proyectarse específicamente atendiendo a lo que establece la ROM 4.1 al respecto.
- Balizamiento: igualmente es un aspecto específico de la obra marítima.
- Equipamiento: tiene aspectos específicos como el diseño y cálculo de las defensas o los bolardos.
- Caracterización del material de dragado: deben aplicarse las recomendaciones recogidas para la gestión del material dragado en los puertos españoles (elaborado por el CEDEX).
- Procesos constructivos: las obras marítimas tienen procesos constructivos específicos diferentes a otras ramas de la ingeniería.
- Estudio de seguridad y salud: existen aspectos específicos relacionados con el punto anterior.
- Programa de vigilancia ambiental: existen medidas preventivas y correctoras específicas de obras marítimas.

Documento nº2: Planos - Las principales diferencias respecto a otros proyectos de ingeniería civil son:

- Batimetría: planos con los diferentes aspectos de la batimetría.
- Planta de dragado: específico de una obra marítima (similar a un plano de excavaciones)
- Planta de rellenos
- Secciones tipo
- Geometría y armadura de los cajones
- Planos específicos sobre algunos aspectos adicionales
- Balizamiento

El resto de documentos no presentan diferencias significativas respecto a otros habituales en ingeniería.

2.1. Algunas recomendaciones sobre el proyecto de obras marítimas

Como cualquier otra obra de ingeniería civil, las obras marítimas presentan condicionantes específicos que determinan e influyen sobre su diseño y proyecto definitivo. A continuación se comentan brevemente algunos de ellos.

Batimetría: en la mayoría de los casos la ubicación de las obras de abrigo a proyectar (ya sean para una nueva instalación o para la ampliación de una existente) vendrá determinada y condicionada por los condicionantes funcionales y operacionales.

Geotecnia: se intentará construir las obras de abrigo en aquellos suelos con unas buenas condiciones geotécnicas, de manera que su cimentación sea lo más económica y segura posible. De esta manera los tipos de fondo ordenados por sus características resistentes y de deformación son: rocas, gravas, arenas, limos y arcillas. La geotecnia de la zona puede limitar los plazos al exigir periodos de tiempo para la consolidación o el drenaje entre diferentes fases constructivas.

Condicionantes de seguridad: en las obras marítimas, además de los riesgos que habitualmente existen en las grandes obras civiles que derivan de actividades como la explotación de canteras, transporte de materiales, fabricación de elementos de hormigón... , existen otros riesgos que obligan a tomar medidas de seguridad específicas. La mayor parte de ellos se encuentra relacionados con el hecho de tener que trabajar en el medio marino, con los riesgos que eso implica.

Afecciones a la dinámica litoral: la presencia de una nueva obra modifica la propagación del oleaje hacia la costa y, por tanto, puede modificar las corrientes y el transporte de sedimentos, lo cual se traducirá en posibles alteraciones en la línea de costa. En función de la dirección media del transporte litoral en uno u otro extremo de las obras de abrigo (y, por extensión, del puerto) se producirán acreciones (avances de la línea de costa) y en otros casos en erosiones (retrocesos de la línea de costa). Estos aspectos deben ser analizados en detalle para evitar efectos no deseados.

Clima marítimo y meteorología: el clima marítimo puede condicionar las actividades de construcción de obras en zonas no abrigadas. Es necesario establecer los días trabajables y la previsión para cada actividad. Se ha de realizar un análisis de excedencias de las alturas de ola y de los periodos de las mismas, así como las limitaciones operativas de los distintos equipos, para así determinar los días y horas en los que se pueda trabajar. Por otro lado, la marea condiciona el horario de trabajo al que deben ajustarse actividades como el hormigonado del espaldón y de las superestructuras, las botaduras de los cajones y el vertido de gánguiles, entre otras muchas.

Disponibilidad de equipos: para la construcción de algunas obras marítimas se necesitan equipos de elevado coste y limitada disponibilidad. El hecho de que estén disponibles o no estos equipos condiciona a las actividades individualmente y al total de las obras.

Afecciones medioambientales: la existencia de zonas protegidas en las proximidades de las nuevas obras, tales como lugares de interés comunitario (LIC), zonas de especial protección para las aves (ZEPA), espacios de interés natural, etc. o de especies protegidas en la traza o en el entorno de las nuevas obras (como por ejemplo las praderas de Posidonia oceánica) puede resultar un factor clave y determinante en la elección de la ubicación de una nueva instalación portuaria (o de una ampliación), de manera que la correspondiente declaración de impacto ambiental (DIA) condicione fuertemente su desarrollo o, incluso, la impida por su fuerte impacto medioambiental

Maquinaria específica en construcción de obras marítimas

La maquinaria empleada en este tipo de obras suele ser muy específica y por tanto escasa.

3.1. Equipo marítimo

El equipo flotante utilizado en la ejecución de las obras de construcción portuarias ha ido evolucionando en los últimos años y se ha dotado de las últimas tecnologías en posicionamiento y propulsión. Todos estos equipos están contruidos con acero y precisan un cuidadoso mantenimiento de pintura y protección catódica, con ánodos de sacrificio. Por el medio en que se desenvuelven y los materiales que manejan sufren mucho desgaste y las empresas deben tener personal especializado que conozca bien cómo se efectúa el mantenimiento. Los equipos más usados son: dragas, gánguiles, pontonas y cabrias.

3.1.1. Dragas

Las dragas son equipos que tienen un alto índice de ocupación por lo que su incorporación a las obras se debe gestionar con suficiente antelación. Se pueden dividir en dos grandes tipos o grupos:

- Dragas hidráulicas
 - Draga de succión en marcha
 - Draga de cortador
- Dragas mecánicas:
 - Draga de cuchara
 - Draga de rosario
 - Draga pala

A continuación se van a comentar los aspectos más importantes de cada una de ellas.

Dragas de succión en marcha: una draga de succión en marcha es una embarcación autoportante y autopropulsada, de dimensiones variables, diseñada para dragar de forma continua elevados volúmenes de material de una forma sencilla y económica, y admitiendo condiciones marítimas adversas. El material es aspirado por un tubo dotado en su extremo de un cabezal de succión. A bordo de la embarcación se instala una bomba que crea el vacío necesario en el cabezal para poner en suspensión los materiales sueltos en el agua, y se aspira la mezcla agua-material que se almacena en la cántara de la propia draga. Algunos datos importantes relacionados con su funcionamiento son:

- Rendimiento: 3000 m³/h

- Condición límite de altura de ola: 5 m
- Velocidades máximas: 18 nudos (33.33 km/h)
- Materiales que puede dragar: rocas, cantos rodados, gravas, arenas, arenas finas muy compactas, limos no cohesivos, arcillas y suelos cohesivos.

Se pueden/suelen utilizar en la ejecución de diques de abrigo, en la excavación de zanjas de cimentación, para efectuar una retirada de material previo al vertido de todo uno de cantera para la banqueteta, entre otros.



Figura 3.1: Draga de succión en marcha.

Draga cortadora: la draga de succión con cortador o draga de cortador es una draga que combina las ventajas de las dragas mecánicas y de las dragas hidráulicas. La disgregación del material se efectúa mediante el giro de un cabezal mecánico mientras que la elevación y transporte del material se efectúa mediante succión. Los factores límite de esta draga son:

- Rendimiento: 700 m³/h
- Condición límite de altura de ola: 2 m
- Máxima corriente a través: 2 nudos (3.7 km/h)
- Materiales: se utiliza cuando los materiales a dragar son consistentes y también cuando no es posible navegar sobre la zona a dragar. Se puede emplear, por tanto, en rocas, gravas, arenas, limos, arcillas y suelos orgánicos.

Draga de cuchara: consiste en una pontona sobre la que se instala una grúa con gran capacidad de elevación. La grúa acciona una cuchara que se llena con el material dragado y éste se deposita sobre un gánguil. Datos de funcionamiento:

- Rendimiento: 150 m³/h
- Condición límite de altura de ola: < 2 m
- Máxima corriente a través: 1.5 nudos (2.8 km/h)



Figura 3.2: Draga de succión con cabezal cortador.

- **Materiales** - el rango de materiales que pueden ser dragados económicamente sin tratamiento previo con una draga de cucharas es limitado: roca, cantos rodados grandes y medianos, gravas, arenas medianas y gruesas, arenas finas bien graduadas, arcillas y suelos orgánicos.

Son capaces de operar con poco calado -el correspondiente a la pontona o el gánguil-. Pueden dragar, abriendo canal, en zonas de poco calado o emergidas. Por su rendimiento se utilizan principalmente para trabajos localizados o de pequeño volumen donde no se puede operar con otro tipo de dragas debido a sus dimensiones, o no es rentable su movilización. Son adecuadas para servicios de mantenimiento de puertos, en muelles, en zonas periféricas de espigones, etc... En muchos casos, las dragas de cuchara no se utilizan con el objetivo de obtener un calado determinado, sino para la extracción de áridos. Es también el recurso que se emplea para refinar vertidos defectuosos realizados por los gánguiles.

Draga de rosario: una draga de rosario o cangilones es una embarcación o una pontona equipada con una cadena sinfín de cangilones (rosario) montada sobre una escala inclinada. La escala está fijada en uno de sus extremos en un armazón situado en el centro del barco, y en el otro extremo está colgando de un pescante. El sistema se dispone inclinado siendo el ángulo óptimo de trabajo de 45° . Para poder mantener esta inclinación a diferentes profundidades de dragado, el eje de la escala tiene diferentes posiciones. El rosario se guía mediante dos tambores prismáticos situados en los puntos extremos de la escala y puede girar gracias al tambor superior. Al girar el rosario, los cangilones excavan el fondo y elevan el material hasta la draga, descargándolo cuando invierten su posición al pasar por el tambor superior. El material se descarga en un depósito donde, a través de unas canaletas, pasa a los gánguiles situados en los laterales de la embarcación. Se utilizan preferentemente en mantenimiento de puertos y retirada de material de destroza de voladuras. Actualmente está en desuso. Alguna información sobre sus datos de funcionamiento:



Figura 3.3: Draga de rosario.

- Rendimiento: 600 m³/h
- Condición límite de altura de ola: < 1.5 m
- Máxima corriente a través: 2 nudos (3.7 km/h)
- Materiales: roca partida, cantos rodados medianos, gravas, gravas arenosas, arenas, arenas cementadas, arenas arcillosas firmes, arcillas limosas blandas y suelos orgánicos.

Draga de pala: 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 barcasas que se sitúan en los laterales del pontón. Son muy sensibles al oleaje y no pueden trabajar en mar abierto, ya que los esfuerzos generados por el oleaje podrían romper los pilones. Alguna información sobre sus datos de funcionamiento:

- Rendimiento: 20 m³/h
- Condición límite de altura de ola: < 1.5 m
- Máxima corriente a través: 2 nudos (3.7 km/h)
- Materiales: rocas, cantos rodados, gravas, arenas, limos, arcillas, suelos orgánicos y restos.

3.1.2. Gánguiles

Los gánguiles son los equipos más característicos para el vertido de escolleras. Existen dos tipos de gánguiles. Los gánguiles de apertura por fondo son barcos especiales que tienen las bodegas abiertas por la superficie, en ellos se cargan escolleras, desde el muelle de un puerto, para un posterior vertido en un punto concreto mediante la apertura del fondo del barco, cayendo todo el material cargado.

En el caso de los gánguiles de vertido lateral, siempre están provistos de posicionamiento dinámico, pues se utilizan para vertidos de gran precisión y son capaces de coordinar la caída del material con un desplazamiento lateral para ejecutar vertidos de taludes. Las capacidades de los gánguiles



Figura 3.4: Draga de pala.

varían entre los 300/400 m³ para los de menor porte y más de 1.000 m³ para los mayores. La velocidad que alcanzan se sitúa entre 2 y 4 m/s a plena carga y entre 2,5 y 6 m/s en lastre. Pueden trabajar con una alturas de ola significantes inferiores a 2m.

3.1.3. Pontonas

Las pontonas son equipos auxiliares que se utilizan para todo tipo de operaciones, las dimensiones habituales suelen estar entre 30 y 60 m de eslora, 10 a 30 metros de manga y entre 3 y 6 metros de puntal. La tendencia actual es que tengan propulsión propia, suelen estar dotadas de unos maquinillos hidráulicos o eléctricos que permiten largar cables a unos muertos de fondeo para controlar el movimiento en planta. En el caso de que se utilice la pontona para embarcar una grúa, es muy importante estudiar las escoras producidas por movimiento de la carga. Las grúas convencionales son muy sensibles, en su rotación, a la falta de horizontalidad. Normalmente no son admisibles escoras de más de 2° o 3°.

Pueden ser utilizadas como potentes equipos de elevación utilizando su condición de flotador, llenando y vaciando tanques o bien utilizando las mareas. Su construcción se realiza en acero naval y, por tanto, requiere pintura y mantenimiento, pero tiene la ventaja de ser posible la fijación por soldadura de gran variedad de aditamentos.

3.1.4. Cabrias

Las cabrias son grúas flotantes para cargas muy altas. Los movimientos de giro y traslación los efectúa el propio flotador. Su principal ventaja es la resistencia al balanceo, alteada y cabeceo, pues la estructura de sujeción de la carga es muy robusta.

Se emplean cuando es necesario el movimiento de cargas muy pesadas. Algunas cabrias tienen potencias de izado de hasta 15.000 toneladas equipadas con propulsión autónoma y posicionamiento dinámico. La empresa holandesa Smit, los japoneses y alguna italiana son los monopolistas de este mercado.



Figura 3.5: Gánguil de apertura de fondo.



Figura 3.6: Pontona.

3.2. Equipo terrestre

3.2.1. Grúas

Las grúas normalmente utilizadas en obras marítimas son las clásicas de oruga y pluma de celosía. Se suele utilizar un equipo base que permite varias configuraciones aumentando el alcance. Si se la dota de un contrapeso rodante, llamado superlift, la misma grúa que se muestra en la figura

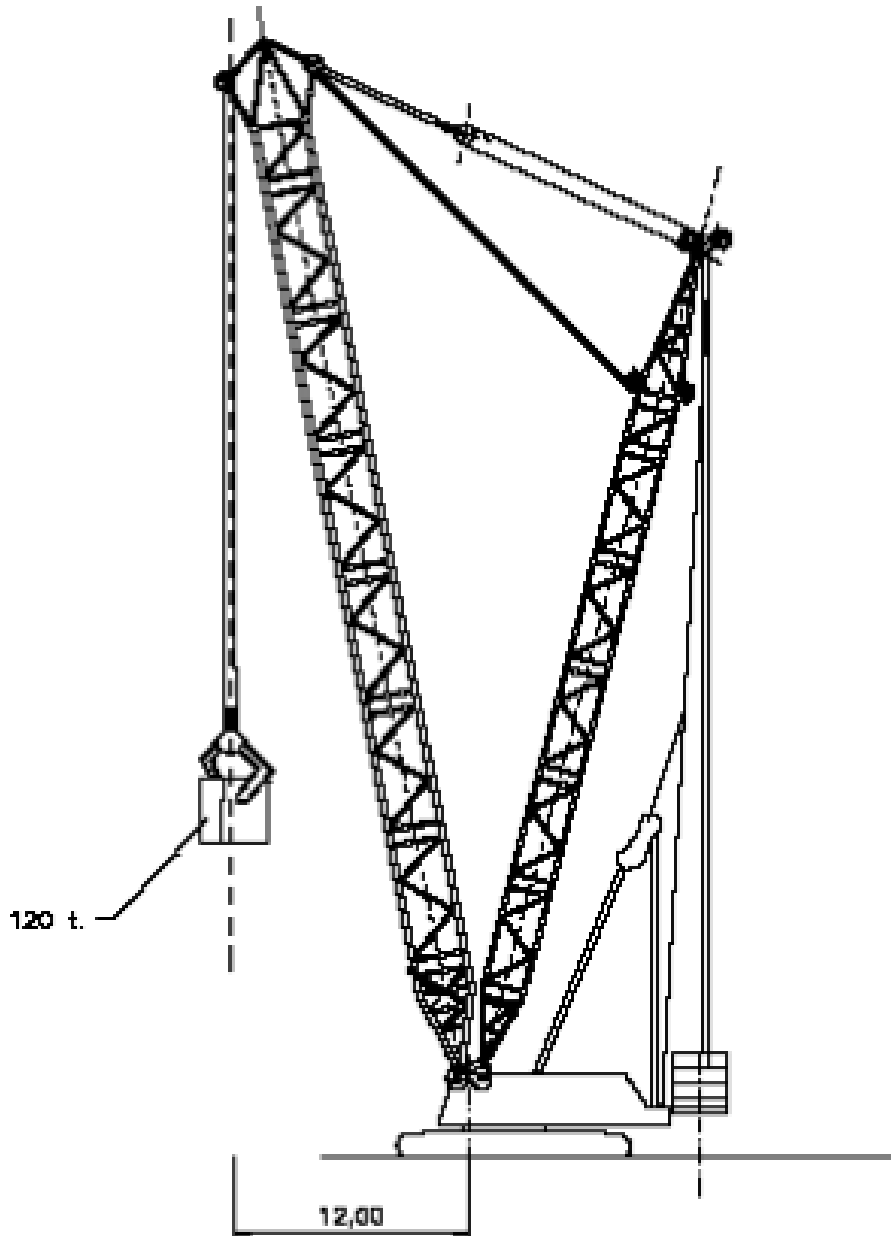


Figura 3.7: Grúa base.

3.7 aumenta el alcance a 30 metros con la misma carga de 120 toneladas. Por otro lado, la grúa base con un dispositivo denominado ringer (figura 3.9) le permite un alcance de 76 metros con la misma carga de 120 toneladas. En algunos casos, y debido a la magnitud de las cargas, se recurre a grúas prototipo. Las grúas de orugas con celosía suelen estar dotadas de doble aparejo, lo que

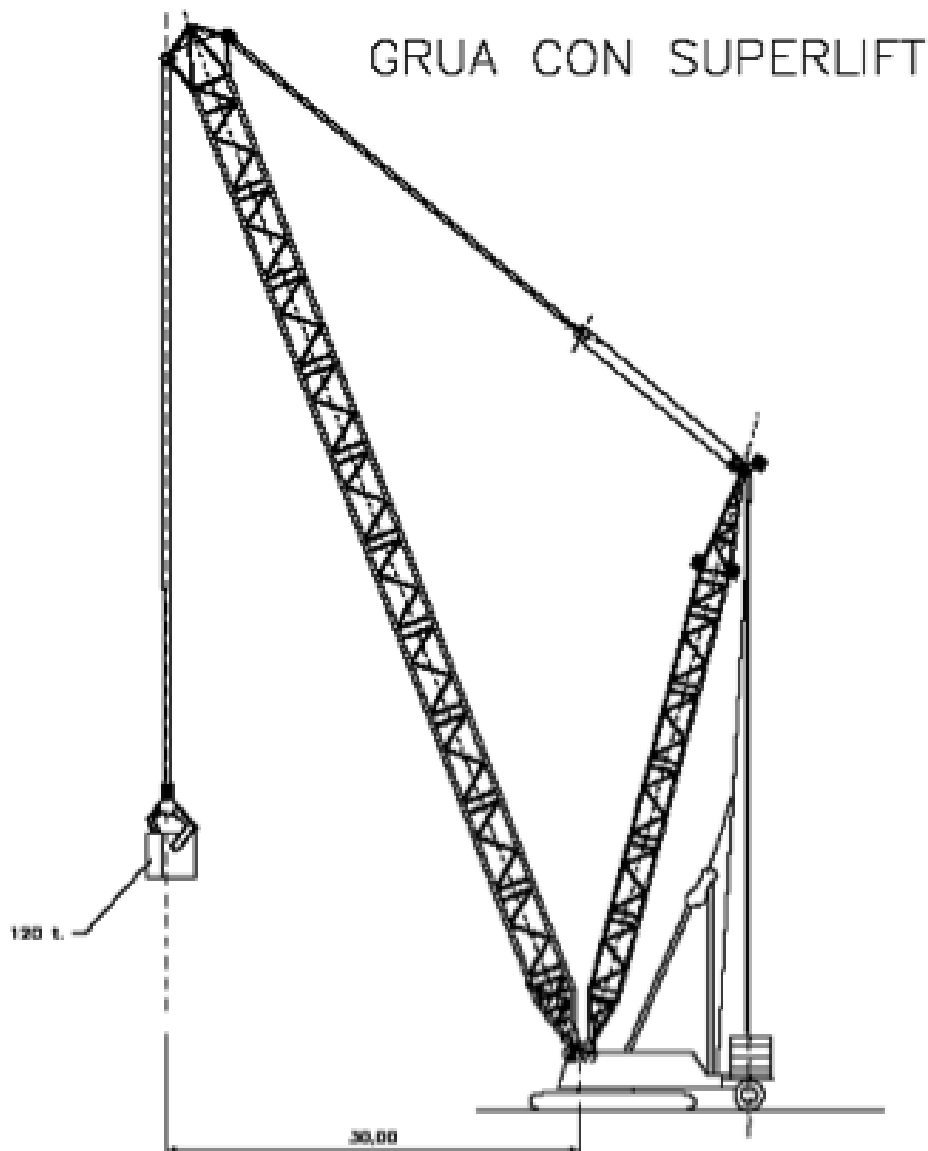


Figura 3.8: Grúa con superlift.

permite la manipulación de piezas y escolleras por presión. Antiguamente se utilizaba el estrobo como elemento de enganche. Además de costoso, por pérdida y desgaste de estrobos, se daba el caso en determinadas circunstancias de peligroso enganche del gancho con los mantos de bloques. Normalmente el descenso de carga se puede hacer con embrague hidráulico con gran suavidad y precisión y, en caso de necesidad, rapidez.

La utilización de estas grúas en la colocación de escolleras y bloques en los diques de abrigo supone un estudio detallado de las consecuencias del escape imprevisto de una pieza. También puede acarrear graves consecuencias la imposibilidad de la suelta de una pieza. La característica del trabajo a compresión de la pluma es, en gran medida, la acumulación de energía, cuya devolución de una manera impetuosa podría tener funestas consecuencias. Por lo anteriormente expuesto no está recomendado en absoluto la utilización de grúas torre del tipo de las utilizadas normalmente en edificación, ya que acumulan mucha energía por descenso de la carga en punta.

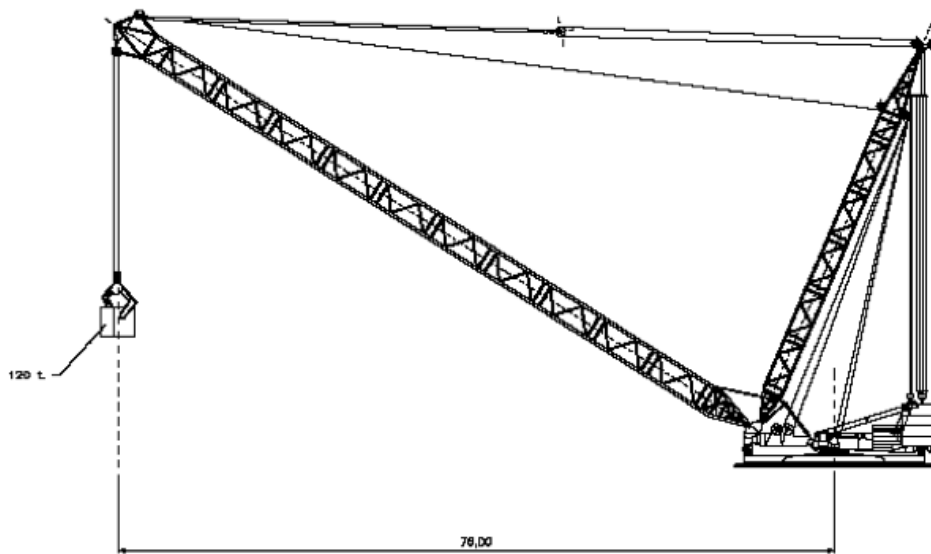


Figura 3.9: Grúa con ringer.

Para su utilización en la construcción de obras marítimas se les suele dotar de equipos de posicionamiento por satélite con antena situada en vertical al gancho principal y encoder de impulsos en el arrollador del cable de izado.

3.2.2. Maquinaria para el movimiento de tierras

La maquinaria específica para el movimiento de tierras se utiliza principalmente para transportar el material desde los préstamos a los lugares donde deben ser colocados los rellenos o, en su caso, a los cargaderos de gánguiles que realicen parte del transporte por vía marítima. Este tipo de maquinaria es común a la mayoría de obras de ingeniería civil y se trata extensamente en otras asignaturas. El transporte de material se ha de estudiar con especial atención a la capacidad de



Figura 3.10: Dumper extraviado.

tráfico de las vías por las que circulan los camiones. En zonas urbanas se recomienda no sobrepasar los 30 camiones/hora y puede ser necesario limitar el horario de trabajo; en vías interurbanas, en las que no se afecta a la población, se puede llegar a 50/60 camiones/hora.

3.3. Sistemas de posicionamiento

Se comprobará que en el Proyecto las obras están suficientemente definidas en planta mediante un sistema de coordenadas U.T.M. (indicando el Datum al que están referidas), y en alzado con las correspondientes cotas.

En el caso de obras en el medio marítimo el replanteo y control de la topografía representa una dificultad añadida. Los instrumentos con los que se suele trabajar son GPS, mareógrafos, compás magnético y encoder de pulsos.

Construcción de los distintos tipos de obras de abrigo

Para la construcción de obras marítimas de abrigo es importante conocer todas las fases constructivas, así como las técnicas constructivas y cuál es la más apropiada dependiendo del tipo de estructura y las condiciones climáticas que puedan aparecer.

4.1. Diques en talud

El dique de abrigo en talud tradicionalmente se ha construido mediante un núcleo de todo uno, encima del cual se superponen capas de elementos de tamaño creciente que cumplen la condición de filtro. Habitualmente, los elementos mayores (que conforman los mantos exteriores o principales) son piezas de hormigón en masa de diferentes formas (cubos, dolos, tetrapodos, etc.) o de escollera. Este tipo de estructura resiste la acción del oleaje provocando la rotura y disipando las olas sobre el talud. Las piezas de escollera suelen ser más económicas y el inconveniente que presentan es que

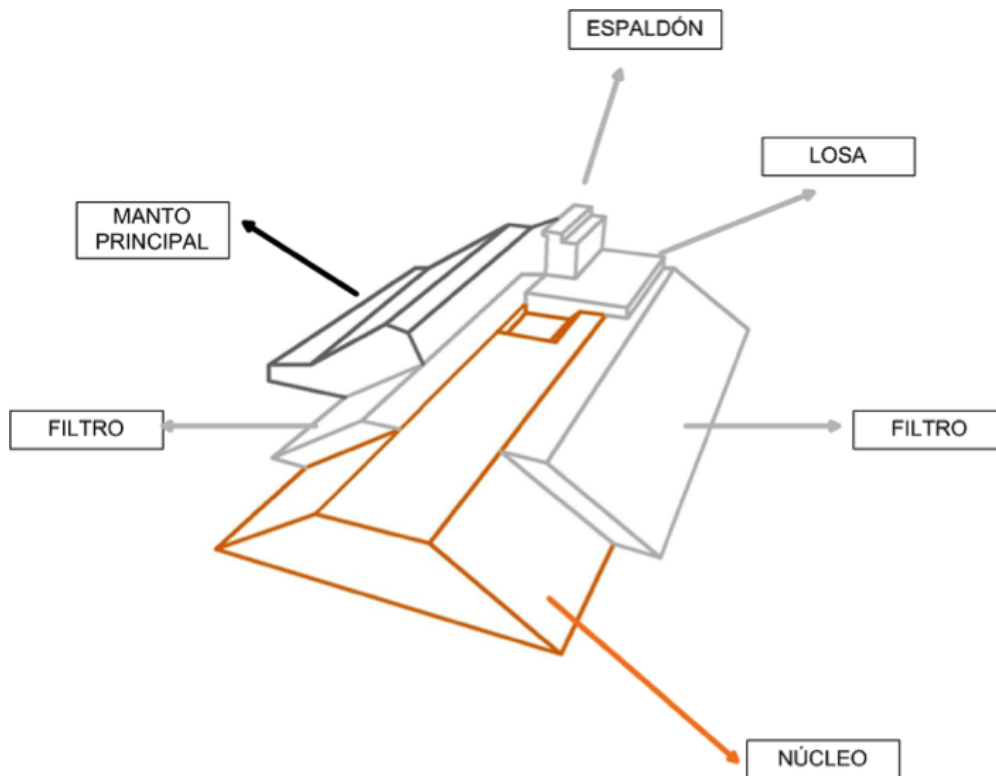


Figura 4.1: Partes de un dique en talud.

su máximo peso está limitado a las características geológicas de las canteras donde se obtienen.

Resulta difícil conseguir en cantidades suficientes cantos de escolleras superiores a las 6 toneladas, por lo que éste suele ser el peso máximo que se considera en el diseño de este tipo de obras, si bien existen zonas en las que ni siquiera pueden alcanzarse dichos pesos. El peso específico que habitualmente se emplea en los cálculos es de 26 kN/m³ (2,65 t/m³). Conviene que las piezas sean rugosas, sin formas redondeadas, para garantizar una mayor fricción entre ellas y con unas dimensiones relativamente similares, evitándose las que tengan lajas, en las que una o dos de las dimensiones son muy superiores al resto.

Los taludes, que de forma natural, adquieren los materiales con los que se construyen los diques, en ausencia de mareas y oleaje, son 1V:1,5H y 1V:2,5H si bien existen diques con taludes más tendidos (1V:3H e incluso menores) especialmente en diques de puertos deportivos y pesqueros, en los que por motivos económicos se intenta evitar el uso de bloques de hormigón (cuanto menor es la pendiente menor es el peso de los bloques necesarios). Existe multitud de este tipo de piezas, se señalan aquellas que resultan más relevantes desde el punto de vista histórico o por su frecuente empleo en nuestro país. En muchos casos se disponen bermas de pie (también conocidas como banquetas de apoyo) para asegurar la estabilidad y forma del talud exterior, proporcionar apoyo a los mantos secundarios y proteger la cimentación.

Existen dos tipos de procedimientos para la construcción de diques en talud:

- Construcción marítima: utiliza medios marítimos (gánguiles, pontonas, cabrias) tanto para el transporte de los materiales hasta el tajo como para su posterior vertido y colocación.
- Construcción terrestre: se usa maquinaria para el movimiento de tierras y grúas (encargados del transporte, vertido y colocación). El núcleo debe tener una cota superior al nivel del mar para poder ejecutarlo por esta vía.

Si no es posible la construcción completa desde tierra, un procedimiento general es ejecutar la parte sumergida del núcleo utilizando gánguiles, completando la construcción de la raíz y la colocación con cabrias o bien las grúas desde tierra, si ello es posible, a base de la formación de sucesivos taludes. La colocación de los elementos del manto principal o exterior se realiza mediante grúas.

Secuencia constructiva de un dique en talud

Un dique en escollera tiene un proyecto muy sencillo pero una ejecución complicada. El avance del dique tiene una primera fase que se realiza por vertido marítimo. Son los gánguiles de vertido por fondo los que realizan esta operación para el vertido del núcleo y de las escolleras de protección. Realizar la obra sumergida por delante de la obra emergida facilita mucho la ejecución de la construcción terrestre y marina. El vertido marítimo con gánguiles se puede realizar hasta con una Hs de 2.5 m, pudiendo así garantizar suficientes días de trabajo incluso en época invernal. A continuación se describen las principales fases.

Dragado: se realiza esta operación para eliminar las capas superficiales de suelos inadecuados. Se dragará hasta alcanzar las cotas y/o estratos previstos en el Proyecto.

Construcción del núcleo: el material del núcleo es el que menos pesa y, por tanto, el más susceptible de ser arrastrado por el mar. Para minimizar estos arrastres de sólidos el avance de las distintas capas se ha de realizar escalonadamente, con una distancia máxima en planta de unos 15 m. Con esto se consigue que el dique quede perfectamente protegido de las posibles inclemencias meteorológicas y se va avanzando con él a sección completa, sin dejar en ningún momento grandes longitudes de dique sin proteger. El vertido del núcleo se realiza combinando tanto medios marítimos como terrestres. El avance se inicia con un programa de vertidos marítimos con gánguil que permite alcanzar una elevación de pedraplén lo suficientemente adecuada para que el posterior avance por tierra sea lo más rápido posible. La cota

aproximada de pedraplén que se alcanza con el vertido marítimo es la -2. Desde esta cota hasta la final se realiza el vertido por medio del avance terrestre con camiones. Generalmente los camiones dejan el material sobre la plataforma y después un bulldozer empuja el material por el talud.

Colocación de las piezas de escollera o piezas artificiales: completado el núcleo se inicia la ejecución de las distintas capas de escollera. La separación entre las distintas partes del avance deberá ser la mínima posible para evitar posibles averías motivadas por el oleaje, por tanto, el manto principal de protección debe ser colocado al menos en una capa lo más inmediata posible. Es habitual que en la plataforma esté situada una hilera de grúas con pluma de celosía para colocar las escolleras de protección de manto que no hayan podido ser vertidas por mar. Esta grúa dependiendo de su capacidad y de la importancia de la obra colocará las escolleras una a una con carga o bien en grupo mediante una bandeja en la cual ha descargado previamente el camión.

Construcción de la losa: es muy importante ejecutar la losa de hormigón y corona de los diques rompeolas lo más cerca del avance, pues supone una de las mejores protecciones ya que actúa a modo de pisapapeles confinando los sistemas granulares.

Construcción del espaldón: la obra de un dique de escollera finaliza con la ejecución del espaldón, esta unidad de obra no presenta características especiales de obra marítima y sólo es importante en cuanto a su papel como soporte o no, de la grúa principal. El proceso de ejecución es el normal como encofrado en ele, la altura de este elemento hace que lo más habitual sea descomponer el espaldón en dos o más alturas.

**TETRÁPODO****DOLO****ACRÓPODO****ECÓPODO****CORE - LOC****XBLOC****CUBÍPODO****Figura 4.2:** Ejemplos de piezas para dique en talud.

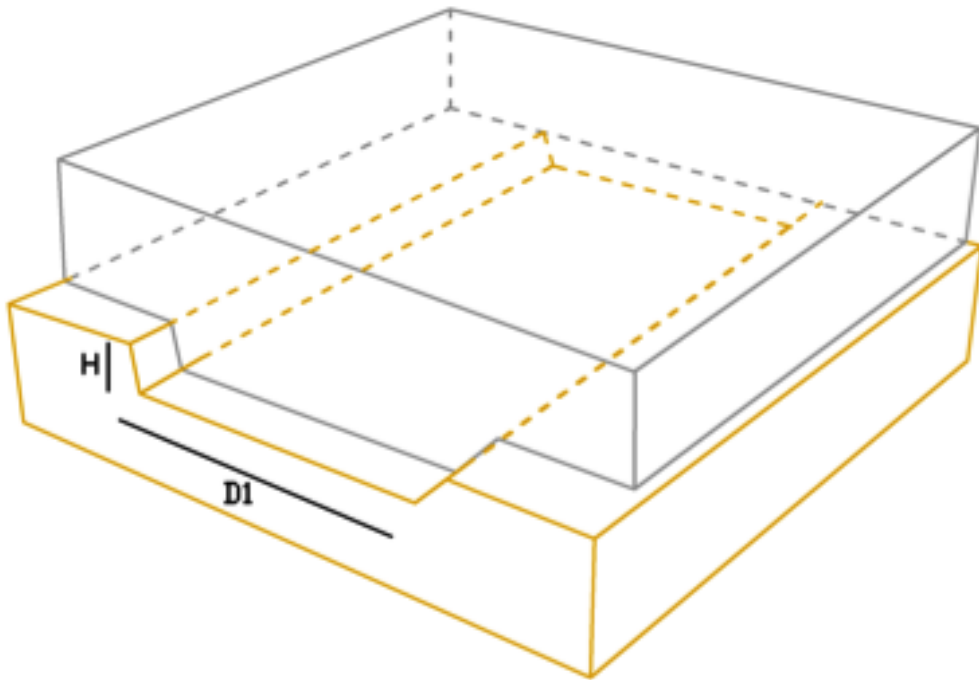


Figura 4.3: Dragado.

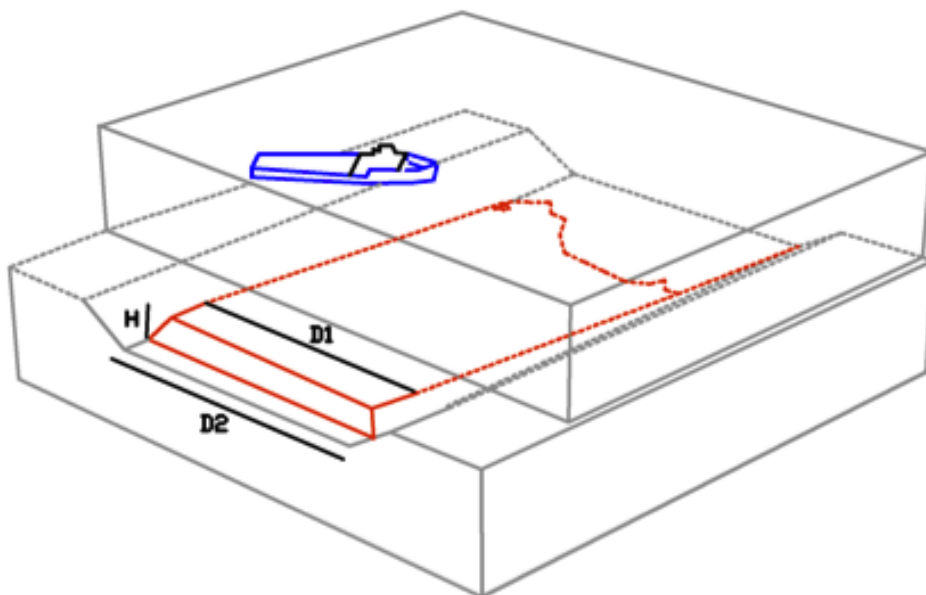


Figura 4.4: Vertido marítimo del núcleo.

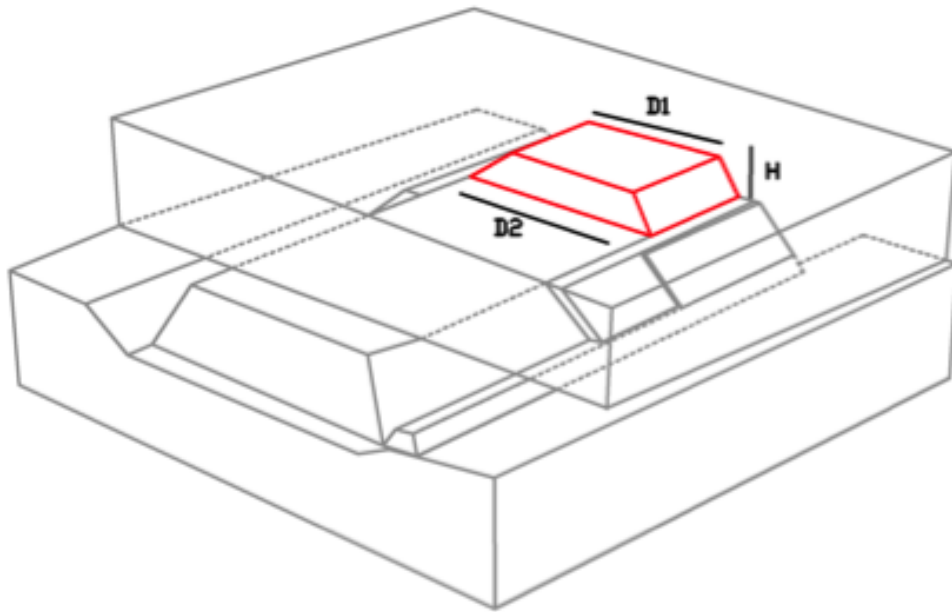


Figura 4.5: Vertido terrestre del núcleo.



Figura 4.6: Colocación de piezas con grúa.

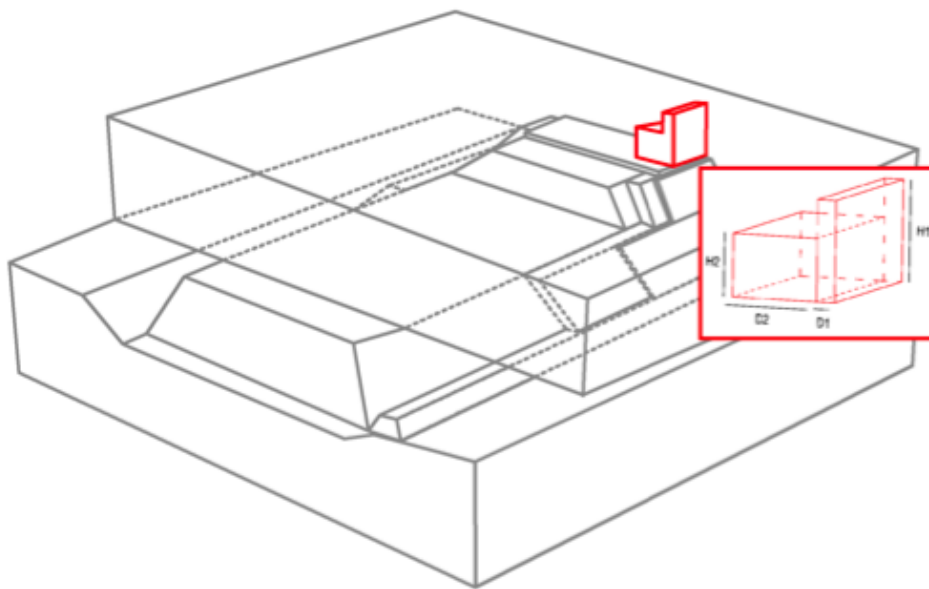


Figura 4.7: Construcción del espaldón.

4.2. Diques verticales

Los diques verticales están constituidos por una banqueta de escollera sobre la que se apoya una estructura de paramentos verticales, generalmente monolítica, realizada con cajones de hormigón armado.

Las razones por las que este dique se construye frente a los diques en talud son:

- Reducción importante de la cantidad de material procedente de cantera. Esto permite minimizar los impactos ambientales, disminuir la afección al entorno (instalaciones portuarias, poblaciones cercanas, etc.), así como ahorro de costes.
- Rapidez en la construcción de los mismos.
- Tienen un buen comportamiento ante el oleaje durante las fases constructivas.
- Pueden ser desmantelados más fácilmente que los diques en talud.

Por otro lado, estos diques presentan limitaciones y dificultades, sobre todo durante el fondeo de los cajones, ya que son indispensables unas ventanas climáticas con unas condiciones muy limitadas, lo que hace que el tiempo de actuación en ciertas zonas geográficas sea mínimo. Este tipo de dique comenzó a utilizarse a principios de siglo, paralelamente al desarrollo del hormigón como material de construcción, dado que involucraban menores volúmenes para su implantación que los rompeolas, sin embargo algunos fracasos como el Mustafá de Argel, GraniIIIi de Nápoles, Palermo, han hecho que se pusiera en duda su seguridad.

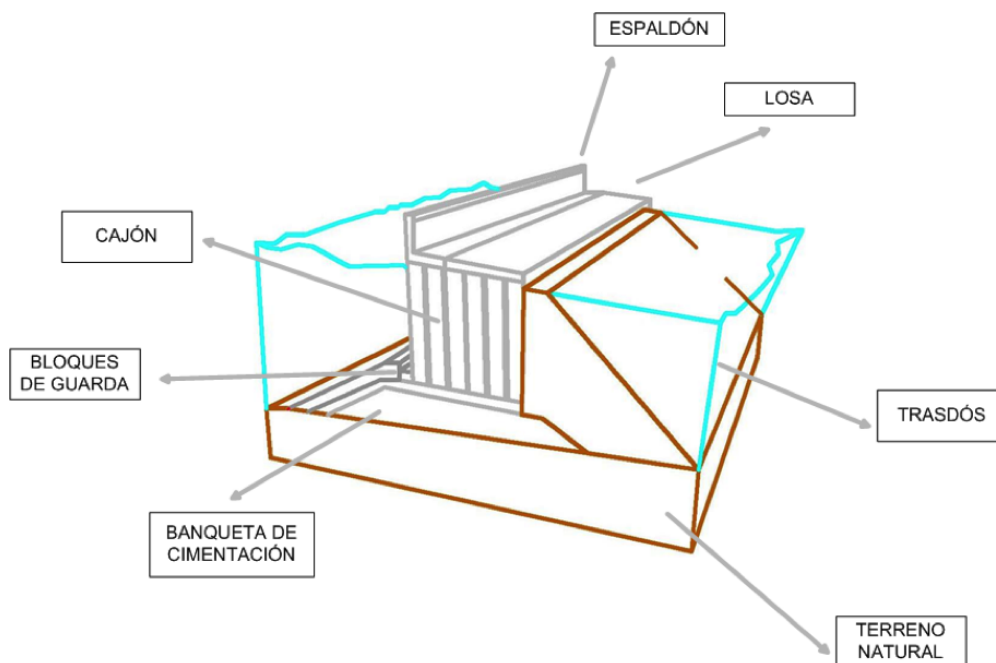


Figura 4.8: Partes de un dique vertical.

Para construir un dique vertical con cajones de hormigón armado se realizan una serie de sub-fases constructivas, donde cada una de ellas comprende un conjunto de actividades cuya ejecución está entrelazada en espacio y tiempo, fijando la duración de la obra en el tiempo que transcurre desde que se inicia la primera actividad hasta satisfacer los requisitos de proyecto, condicionada a los medios técnicos y económicos necesarios, así como a los procedimientos constructivos que en cada caso se establezcan para ejecutar el dique.

El proceso a seguir para establecer un plan de obra y definir la maquinaria más adecuada a la construcción de un dique vertical que supondremos de tipo clásico, con cajones flotantes de hormigón armado, sobre una banqueteta de todo uno protegida por escolleras, se compone de las siguientes fases: dragado, vertido de la banqueteta, vertido de la berma, enrase de la banqueteta, fondeo de cajones, relleno de las celdas, vertido del trasdós, colocación de los bloques de guarda, hormigonado de la losa y hormigonado del espaldón. A continuación se exponen cada una de ellas.

Dragado: el dragado del terreno natural se realiza con objeto de eliminar suelos que no tengan la suficiente capacidad portante para recibir las cargas que la banqueteta transmite. Después de efectuar esta retirada, que suele ser ejecutada por los grandes equipos de dragas de succión en marcha, comienzan las labores propiamente dichas de implantación del cimiento

Vertido de la banqueteta: las obras de abrigo de tipología vertical se sitúan sobre banquetetas de todo uno o de escollera de cierta altura cuya misión es repartir las tensiones que el cuerpo transmite a la cimentación, tal que al llegar al terreno natural las presiones se hayan reducido y puedan ser resistidas sin que haya riesgo de colapso geotécnico de la estructura, así como hacer que los asientos producidos sean homogéneos. Por otro lado, estas banquetetas de cimentación soportan la acción del oleaje y de las hélices de los barcos. Generalmente, la banqueteta de cimentación se vierte desde gánguiles de apertura por fondo.

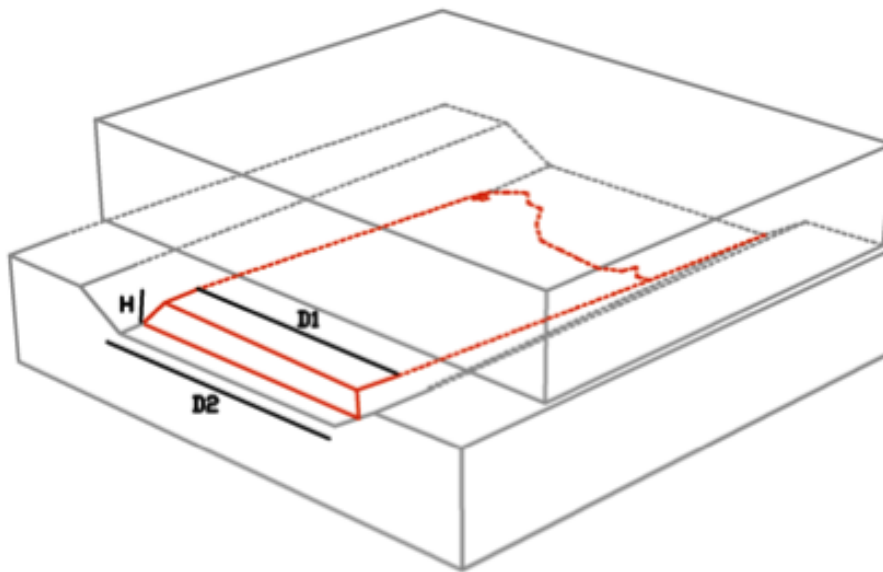


Figura 4.9: Vertido de la banqueteta.

Vertido de la berma: en los diques verticales, los mantos de protección (berma) se realizarán lo antes posible para reducir el riesgo de daños por efecto del oleaje, puesto que éste puede socavar la banqueteta y afectar a la estabilidad estructural. En la figura 4.10 se muestran las dimensiones geométricas de la construcción de una berma tipo.

Enrase de la banqueteta: esta operación se realiza para conseguir que la geometría de la superficie de la banqueteta sea homogénea y sin irregularidades. El objetivo es evitar esfuerzos puntuales en las estructuras que se asientan sobre la banqueteta, propiciar la exacta ubicación de las mismas y compensar los asientos que puedan producirse. El material idóneo para realizar esta subfase es una grava de características parecidas al balasto de ferrocarril, con tamaños comprendidos entre 2 y 4 pulgadas (5.08 – 10.16 cm respectivamente). Tamaños más reducidos

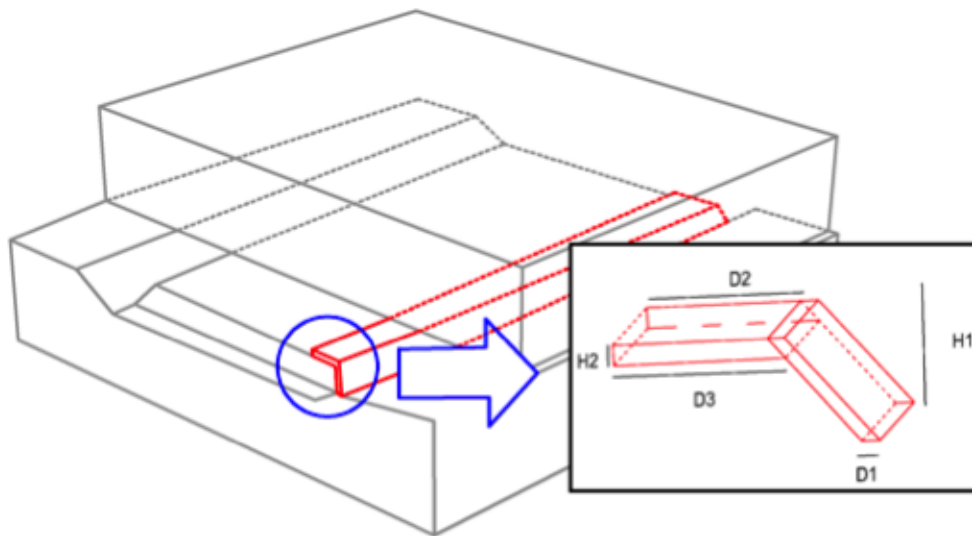


Figura 4.10: Vertido de la berma.

facilitan la labor de los equipos y es posible una nivelación más precisa, sin embargo posteriormente son un peligro de potenciales asientos producidos por penetración en la banqueta o también por lavado debido a las corrientes. Los tamaños superiores dificultan el proceso de enrase.

Si la cimentación se efectuase sobre un fondo rocoso, en determinadas circunstancias extremas, el enrase se realizaría con sacos de yute rellenos de hormigón y colocados por buzos profesionales. Este sistema resulta caro y sólo se recurre a él cuando el espesor equivalente a enrasar es muy pequeño y, en cualquier caso, sobre un fondo rocoso ya que hacerlo sobre un núcleo de escollera no tiene ninguna justificación. La tendencia actual, y para fondeos en alta mar y a grandes profundidades, es la de efectuar el enrase por montones, para lo cual se establecen con un equipo muy sofisticado unos montones de balasto, en forma de galleta, en cuadrículas de aproximadamente 1 metro. Su producción es superior a los $1.000 \text{ m}^2/\text{día}$

Fabricación y fondeo de cajones: el proceso constructivo en diques verticales tiene como dificultad adicional el fondeo de cajones. El fondeo es la operación para apoyar el cajón sobre la banqueta de cimentación y se realiza inundando de manera controlada las celdas mientras se mantiene el cajón a flote. Los cajones que se utilizan para construir diques verticales pueden alcanzar grandes dimensiones y presentan grandes superficies expuestas a la acción del viento, la corriente y el oleaje, lo que condiciona el proceso de fondeo, dado que en determinadas fases hay que mantener la situación en planta del cajón con muy pequeñas variaciones. El proceso de fondeo conlleva, por tanto, las siguientes operaciones:

- **Fabricación del cajón:** es la fase inicial, en la que se lleva a cabo la fabricación del cajón en el cajonero, y que culmina con la botadura. El proceso de fabricación del cajón es el siguiente:
 - Con el cajonero parcialmente sumergido, se coloca bajo el encofrado la armadura de la solera a bordo de la pontona.
 - Una vez que la armadura de la solera ha sido elaborada y montada sobre la pontona auxiliar, se traslada al dique flotante o cajonero, previamente sumergido, donde la parrilla de armadura se suspende de la estructura de éste mediante unos cuelgues

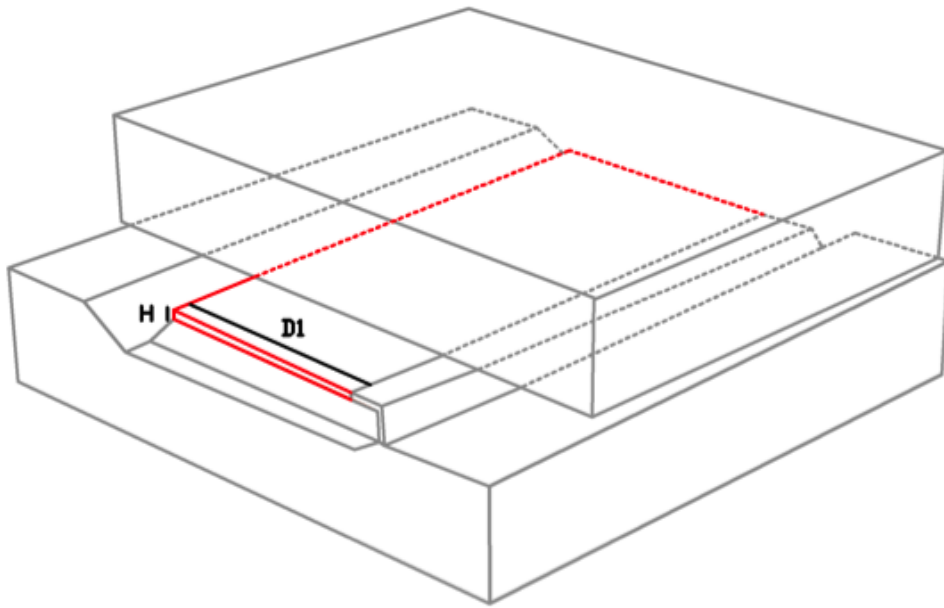


Figura 4.11: Enrase de la banqueta.

de cable de acero, retirando la pontona auxiliar y procediendo a su descenso y colocación en la base del cajonero.

- Hormigonado de la solera. Posteriormente se procede a la colocación del encofrado de la solera del cajón y al hormigonado de ésta. La operación de hormigonado de la solera se realizará mediante la distribución uniforme del hormigón en tongadas no superiores a 25 cm, con el fin de favorecer el vibrado.



Figura 4.12: Cajonero para la fabricación de los cajones.

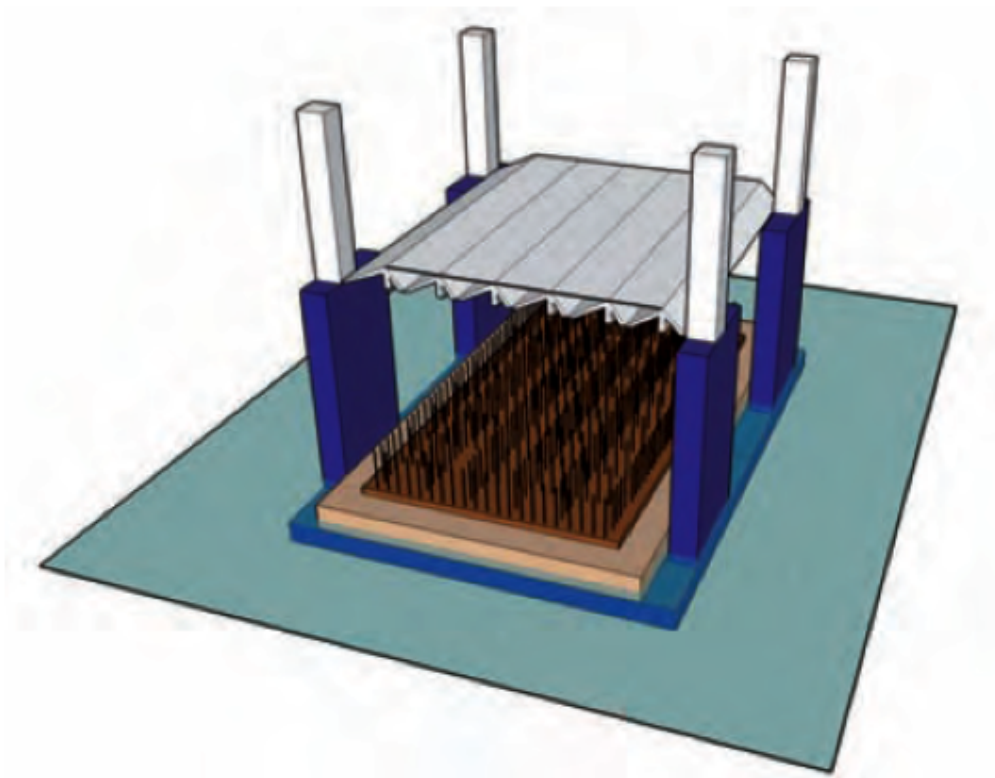


Figura 4.13: Pontona con la armadura de la solera [Guía de Buenas Prácticas, 2008].

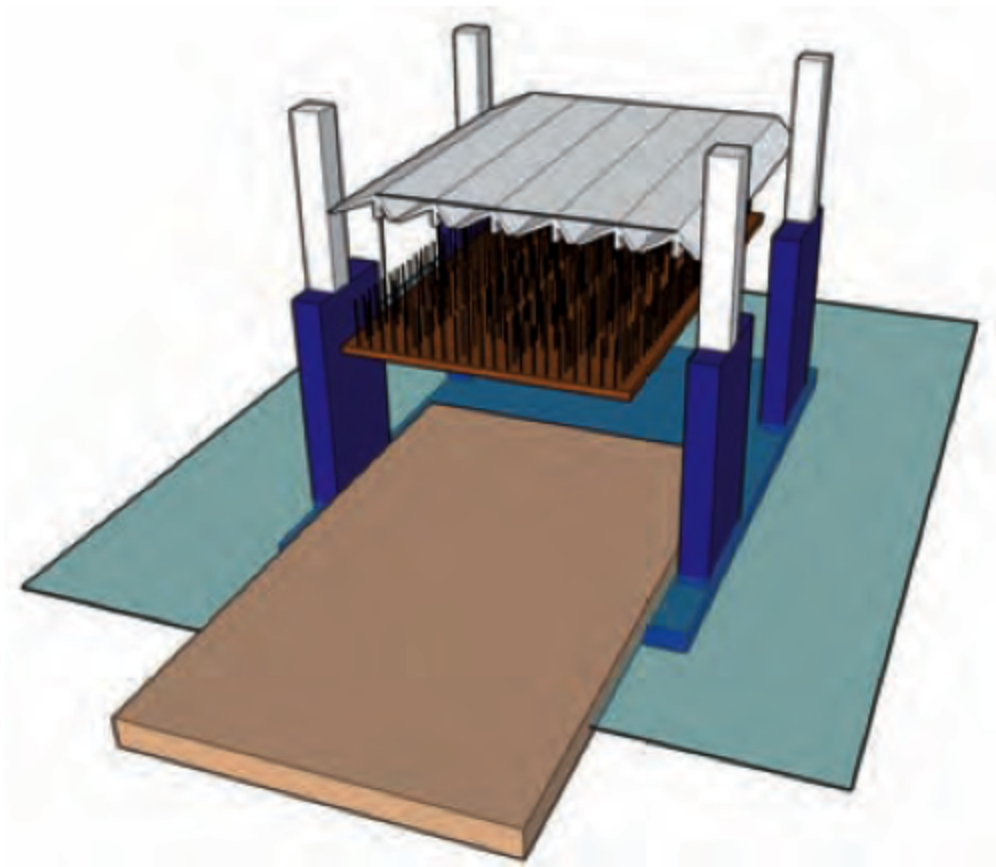


Figura 4.14: Colocación de la armadura de la solera [Guía de Buenas Prácticas, 2008].

- Inicio del hormigonado del fuste con el dique a flote. Una vez finalizada la operación de hormigonado de la solera, se procederá a la colocación del primer tramo de la armadura del fuste y al descenso del encofrado para proseguir con el hormigonado del resto del cajón. El hormigonado del fuste se realizará en tongadas de aproximadamente 30 cm de espesor, haciendo simultáneamente las operaciones de colocación de armaduras, hormigonado, vibrado, deslizado, hasta alcanzar sin interrupción la cota de coronación del cajón, obteniendo en el proceso un nivel de calidad superior al que se alcanzaría con un sistema de hormigonado no continuo, en el que fuera necesario disponer de juntas intermedias.
- Hormigonado del fuste con el dique parcialmente sumergido.

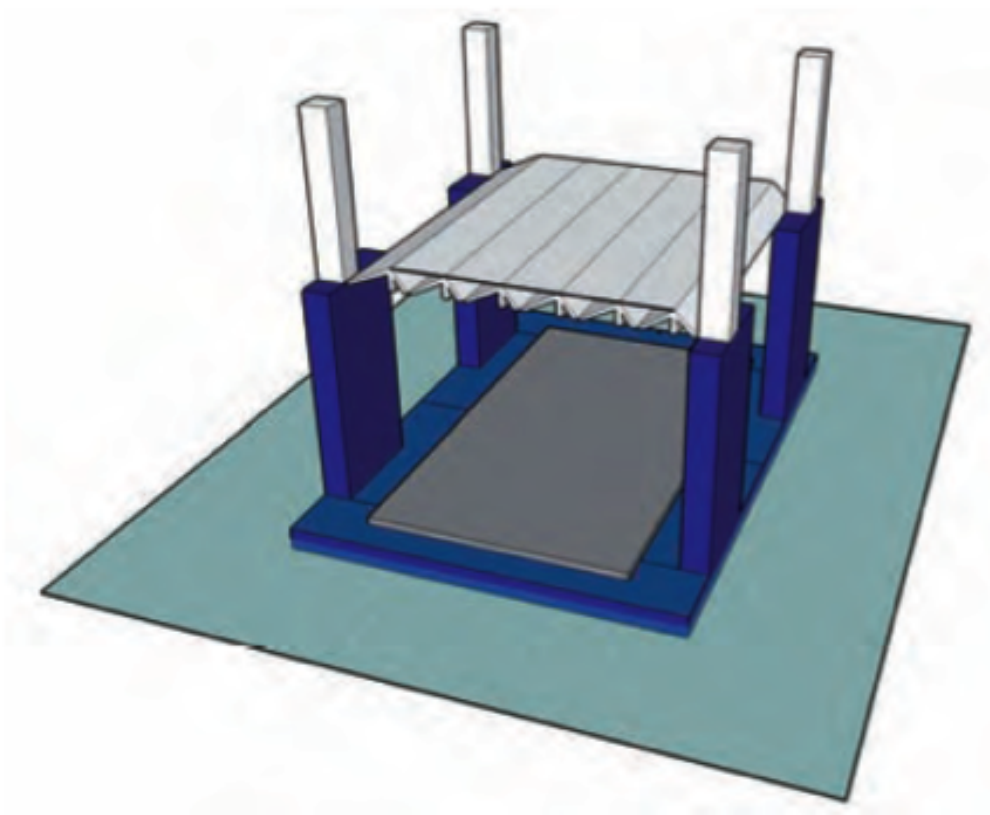


Figura 4.15: Hormigonado de la solera [Guía de Buenas Prácticas, 2008].

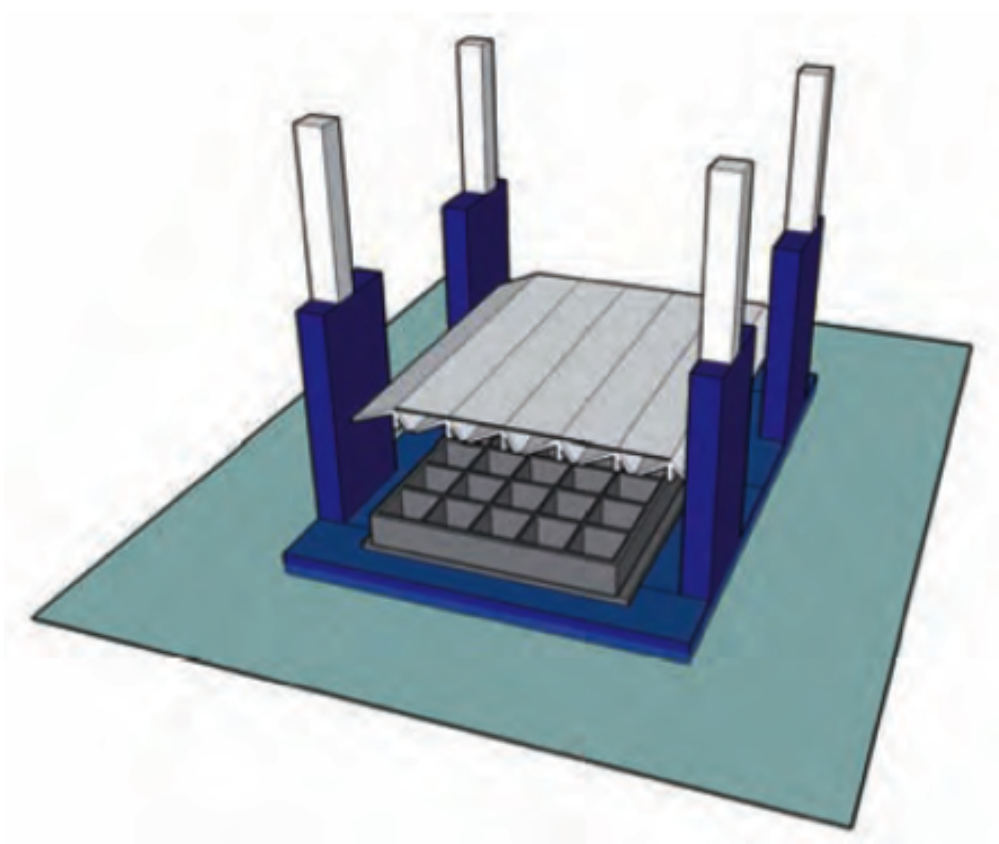


Figura 4.16: Hormigonado de la solera [Guía de Buenas Prácticas, 2008].

- Botadura. Una vez hormigonada la totalidad del fuste del cajón, se procederá a la inundación del dique flotante hasta alcanzar el calado previsto de botadura del cajón, momento en el cual se produce la flotación libre de éste, permitiendo su remolque hasta su lugar de fondeo.
- Transporte. Comprende el transporte del cajón hasta su posición definitiva en obra. En algunos casos se suele realizar un profondeo en zonas abrigadas donde resguardar los cajones si fuera necesario.
- Remolque y conexión. Comprende el transporte y aproximación a la ubicación o emplazamiento final del cajón. Previo a la operación propia de fondeo, se ha de preparar el cajón para ésta. Para ello y por seguridad se deben colocar barandillas y redes que eviten la caída de los operarios dentro de las celdas, iluminación y luces de navegación. Asimismo se instalarán maquinillos hidráulicos y winches, de potencia proporcional al tamaño del cajón entre 10 y 30 t. La mejor configuración es disponer de 7: cuatro en las esquinas (para situar el cajón con los largos perpendiculares a la eslora), uno en el centro (para disponer un largo en dirección a la alineación del dique hacia el avance) y dos más asimismo en la dirección del dique pero hacia lo construido. Los más eficaces son los perpendiculares a las paredes del cajón. Tras transportar el cajón hasta la zona final de colocación, se colocan unas defensas hinchables de goma tipo Yokohama en el morro del último cajón del avance, donde se apoyará el cajón que esté previsto fondear, se tensan los cables con los winches y se procede a la inundación de las celdas mientras se guía con el tiro de los cabrestantes hasta dejarlo correctamente apoyado en el fondo para a continuación inundarlo totalmente.

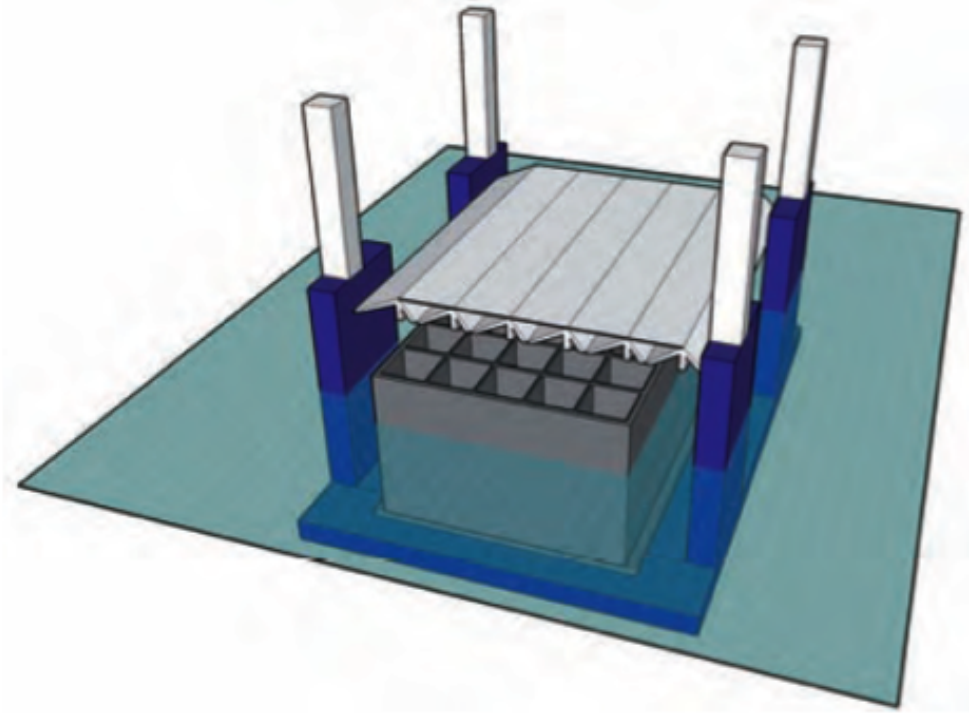


Figura 4.17: Fase final de hormigonado [Guía de Buenas Prácticas, 2008].



Figura 4.18: Botadura de un cajón.

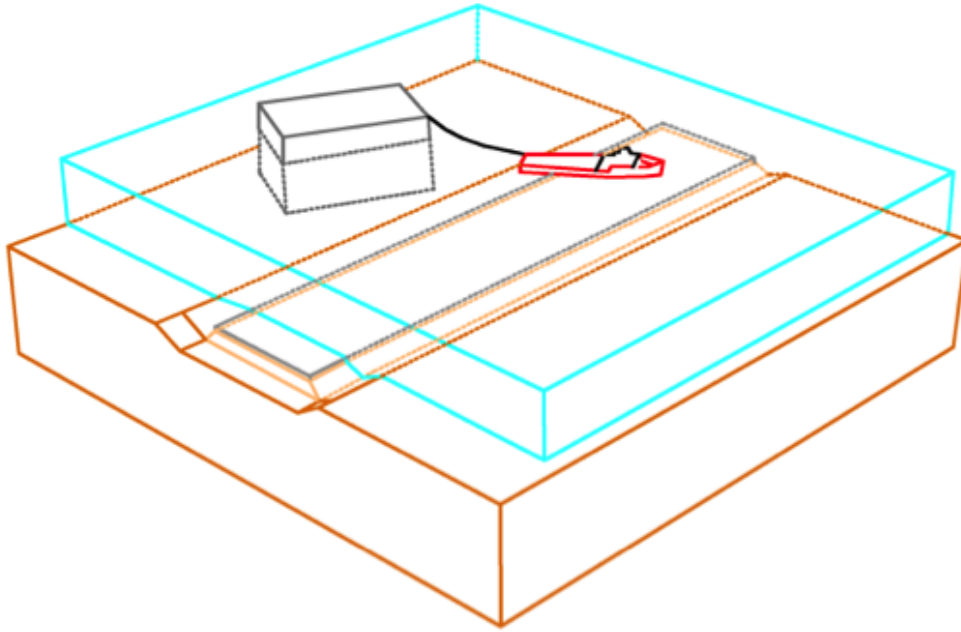


Figura 4.19: Transporte del cajón.



Figura 4.20: Winche.

- **Pre-posicionamiento y hundimiento.** Durante la maniobra de pre-posicionamiento previa al fondeo, el cajón se encuentra muy próximo al cajón precedente y debe evitarse que colisione con él. Por esa razón los movimientos que se producen en el plano horizontal, principalmente el vaivén y la deriva, deben estar muy controlados. El lastrado de las distintas celdas, que posibilita hundir el cajón hasta apoyarlo en la banqueta, se realizará manteniendo la horizontalidad del cajón hasta poco antes de tocar fondo, momento en que se lastrará el lado opuesto al cajón anterior, para evitar la alteada (desplazamiento en el eje Z, vertical) y el aquaplanning. Por todo ello, se recomienda fondear el cajón descendiendo de forma tal que sea una lista de la solera, la de popa o la de proa según la experiencia de la empresa de que se trate, la primera que entre en contacto cuando todavía tenga un remanente de flotación, y así quede fijado en posición hasta descender totalmente. Al finalizar, se deshincha la defensa y se retira para situarlas en el siguiente fondeo. Cuando el cajón se apoya en el fondo, en la posición correcta, se abren las válvulas que permiten la entrada de gran caudal de agua lastrándolo con rapidez para evitar que el oleaje pueda levantarlo del fondo. El fondeo viene limitado por velocidades de viento superiores a 5 m/s que dificultan la operación. Reducir el franco-bordo del cajón disminuye la influencia del viento, que aumenta los esfuerzos en anclas y cabrestantes. Velocidades de la corriente superiores a 0,5 m/s dificultan el fondeo de los cajones y deben ser tenidas en cuenta al diseñar el proceso. Alturas de ola significativa mayor de 1 m y/o períodos superiores a 8 segundos disminuyen la precisión con la que se puede hacer el fondeo.

Relleno de celdas: con esta operación se llenan los aligeramientos de los cajones de hormigón armado una vez fondeados. Habitualmente las celdas de los cajones se rellenan con draga y difusor de reparto de forma que se van rellinando varias celdas al mismo tiempo. En el caso de que la ubicación de los cajones permita el acceso desde tierra, el relleno de las celdas se realiza mediante el vertido directo desde camiones.

Bloques de guarda: los cajones fondeados modifican las condiciones hidráulicas del entorno, pudiendo producir aumentos de la agitación en las zonas de banqueta próximas a los cajones. En consecuencia, la colocación de los bloques de guarda se debe hacer a la mayor brevedad, una vez fondeados los cajones, para evitar socavaciones en la banqueta.

Vertido del trasdós: la colocación del material del relleno del trasdós se realizará de forma que se garantice que el trasdós de las estructuras está constituido por el material previsto. Antes de trasdosar una estructura, se ha de verificar que ésta tiene capacidad resistente suficiente para soportar los empujes transmitidos, limitando, en su caso, el avance del relleno en función del grado de acabado de la estructura.

Hormigonado de la losa y del espaldón: para la construcción de estas subfases es importante tener en cuenta la combinación de las mareas y el oleaje, ya que pueden provocar rebases que impidan el trabajo, dañando las obras en ejecución, poniendo en riesgo la integridad de las personas y de los equipos.



Figura 4.21: Posición que ocupan los cabrestantes o winches dentro del cajón.



Figura 4.22: Hundimiento del cajón.

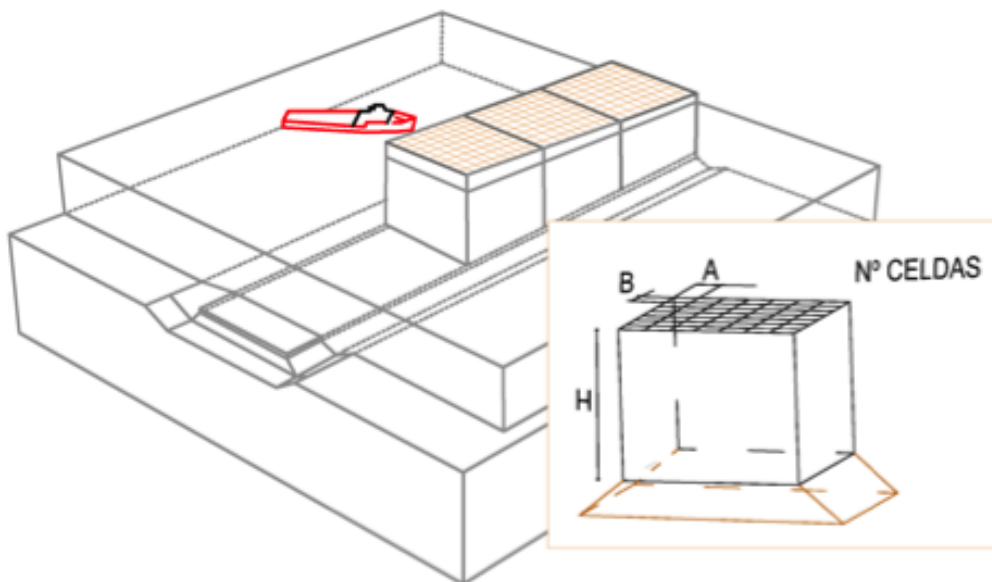


Figura 4.23: Relleno de las celdas del cajón.

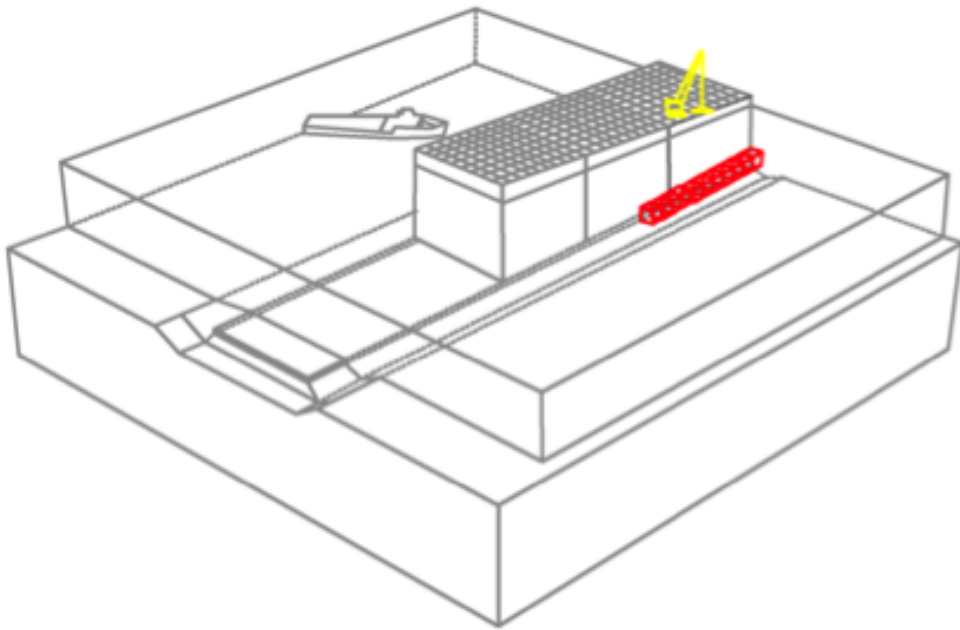


Figura 4.24: Bloques de guarda.

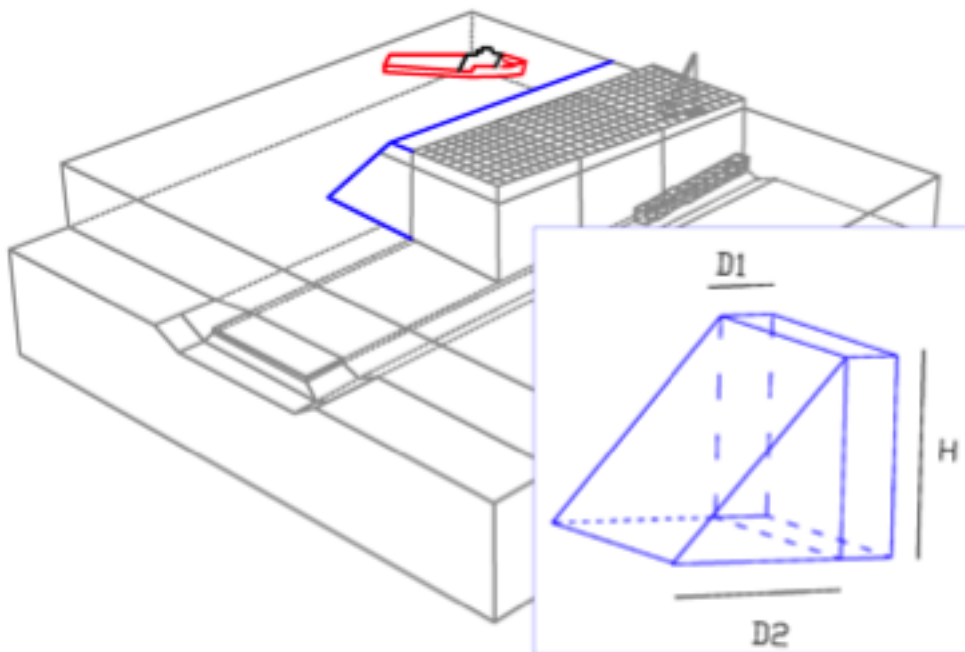


Figura 4.25: Vertido del trasdós.

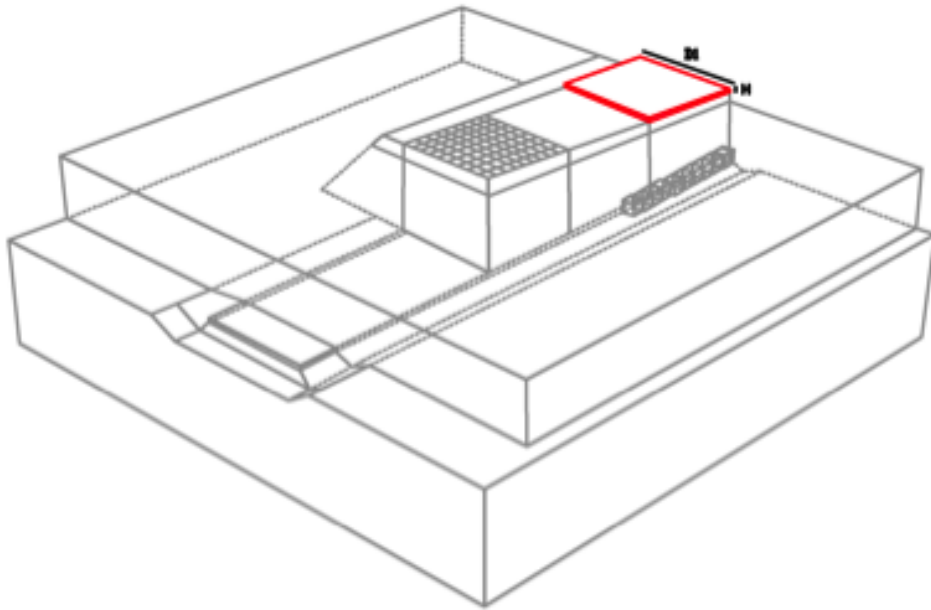


Figura 4.26: Hormigonado de la losa.

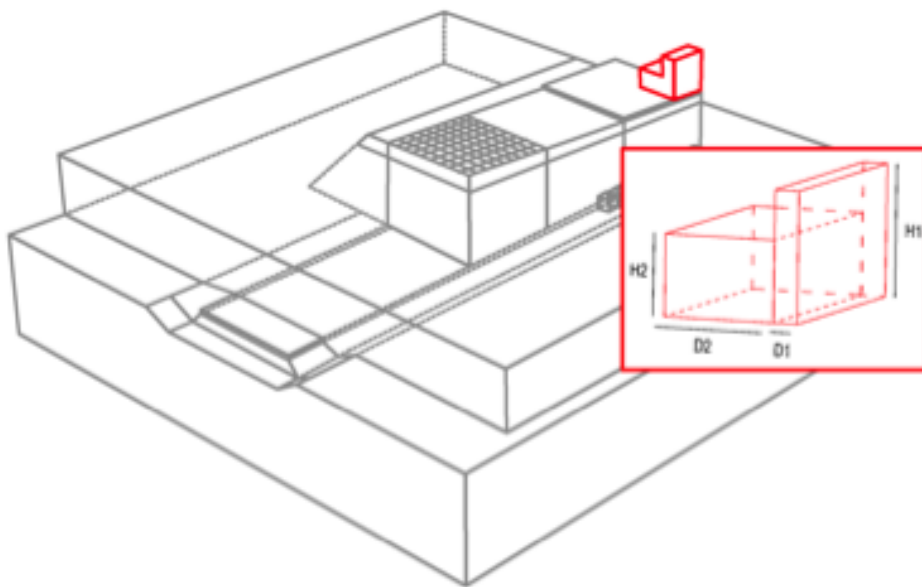


Figura 4.27: Hormigonado del espaldón.

4.3. Diques mixtos

Estos tipos de diques pueden dividirse a su vez en diques mixtos compuestos verticalmente y en diques mixtos compuestos horizontalmente.

- Los diques mixtos compuestos verticalmente son obras de abrigo vertical con una banqueta de cimentación que tiene una altura suficiente tal que su presencia modifica significativamente la cinemática y dinámica de las oscilaciones del mar. La sección típica de este tipo de dique es similar a la de dique vertical.
- Los diques mixtos compuestos horizontalmente son obras de abrigo verticales delante de las cuales se dispone un manto de piezas de hormigón para disipar las acciones del oleaje. El objetivo que persigue este manto es reducir las presiones del oleaje contra los paramentos de la obra vertical que comporta la reducción de su anchura y una reducción de las reflexiones del oleaje como consecuencia de la disipación de parte de la energía del oleaje incidente.

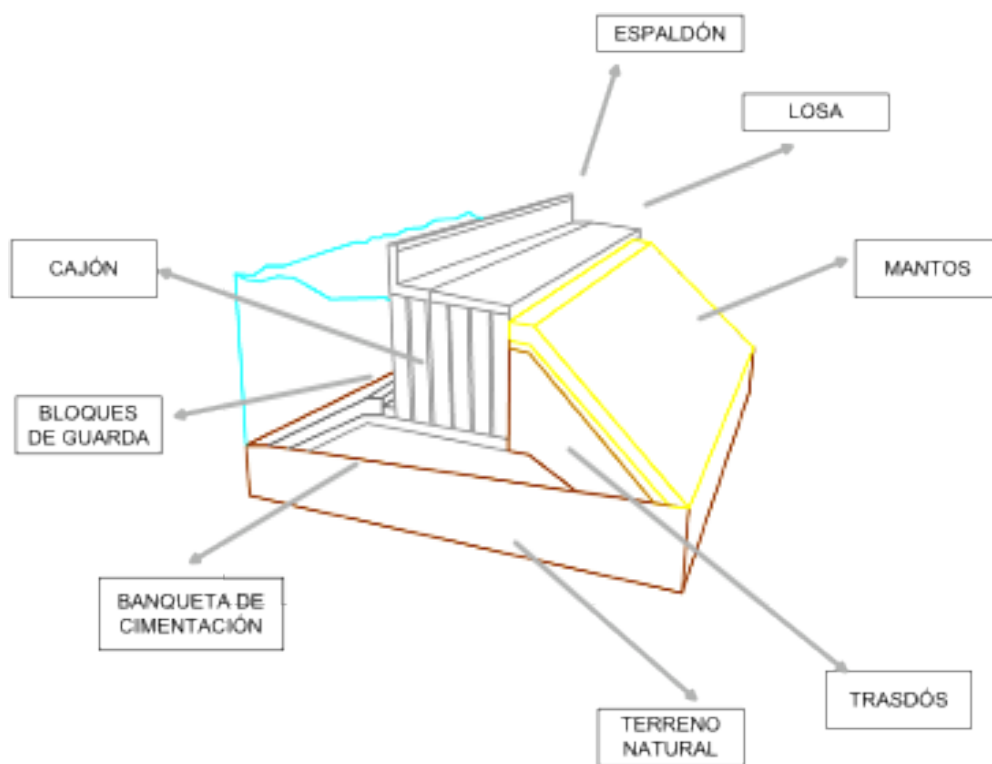


Figura 4.28: Partes principales de un dique mixto compuesto horizontalmente.