



GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS

1ª Edición
Julio 2008



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Puertos del Estado



GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS

GUÍA

1ª Edición
Julio 2008



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Puertos del Estado



PRIMERA EDICIÓN:

Julio 2008

EDICIÓN:

Puertos del Estado

COORDINACIÓN Y DISEÑO:

Emilio Piñeiro Díaz

Puertos del Estado

INFOGRAFÍAS:

Isidoro González-Adalid Cabezas

IMPRESIÓN:

Artegraf, S.A.

I.S.B.N.:

978-84-88975-68-6

DEPÓSITO LEGAL:

M-29.950-2008

PRECIO:

40 €

Prólogo

A los efectos de servir de orientación y recomendación para los directores de obras marítimas o portuarias, se considera de interés el sintetizar y recoger en un documento los distintos aspectos que suponen “buenas prácticas” de ejecución de obras, conforme a la experiencia adquirida en la construcción de obra marítima en España.

Este documento, editado y distribuido por Puertos del Estado entre las Autoridades Portuarias, puede servir para complementar la formación de los directores de obra de los puertos.

La *Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas* es el resultado del esfuerzo conjunto de un grupo de trabajo constituido por ingenieros portuarios españoles de reconocido prestigio y dilatada experiencia profesional en la ejecución de obra marítima.

Presidente del Grupo de Trabajo:

Álvaro Rodríguez Dapena (*Puertos del Estado*)

Director del Grupo de Trabajo:

Juan Ignacio Grau Albert (*Puertos del Estado*)

Secretario del Grupo de Trabajo:

Gonzalo Gómez Barquín (*Puertos del Estado*)

Ana Lope Carvajal (*Puertos del Estado*)

Ponentes de la Guía:

Ana Dizy Menéndez (*Portia Ingeniería*)

Rafael Mey Almela (*Portia Ingeniería*)

Grupo de Trabajo:

Eduardo Arana Romero

Jaime Arriandiaga Gerricaechevarría

Santiago Falcón Fernández

Ovidio Varela Carnero

El método de trabajo para la redacción de la *Guía* ha consistido en discutir y analizar en el seno del Grupo de Trabajo indicado el documento redactado al efecto por los ponentes de la *Guía*, que ha incorporado a la redacción de la misma las observaciones y comentarios realizados en cada reunión de trabajo.

El texto final fue remitido a las Autoridades Portuarias, con el fin de que hicieran los comentarios que considerasen oportunos antes de la edición del texto definitivo. En particular se mantuvo una reunión de revisión del texto con los representantes de las Autoridades Portuarias siguientes:

- D. Marcelo Burgos Teruel *Autoridad Portuaria de Valencia*
- D. Fernando Dueñas de la Fuente *Autoridad Portuaria de Pasajes*
- D. Jose Luis Zatarain Madrazo *Autoridad Portuaria de Santander*
- D. Antonio Ruiz Vega *Autoridad Portuaria de la Bahía de Cádiz*
- D. Juan Carlos Suñé Recio *Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras*

Presentación

La Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante establece la encomienda a Puertos del Estado de promocionar la investigación y el desarrollo tecnológico en materias vinculadas con la ingeniería portuaria. Incluye además dicha Ley entre las funciones de Puertos del Estado el definir los criterios para la aplicación de disposiciones generales en materia de seguridad y de obras. En este contexto se enmarca la edición de la presente *Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas*, fruto de la experiencia adquirida a lo largo de muchos años por profesionales de prestigio que han desarrollado su carrera en la construcción de obra portuaria.

Es muy notable el esfuerzo inversor que nuestro país ha acometido en las dos últimas décadas en lo que se refiere a dotación de nueva infraestructura portuaria, impulsado desde la necesidad de dar respuesta a un incremento sustantivo del tráfico portuario. Este esfuerzo de inversión se ha plasmado en el proyecto y la ejecución de nuevos puertos de interés general, así como en el desarrollo de grandes ampliaciones de la superficie abrigada de los puertos existentes y del incremento de sus dotaciones en atraques y explanadas.

La construcción de esta infraestructura portuaria en España se ha visto acompañada de un avance tanto en el ámbito del diseño y la ingeniería marítima, como de los sistemas constructivos desarrollados por las empresas para lograr ejecutar las obras en términos de calidad, competitividad y eficiencia. No obstante la calidad y eficacia obtenidas en términos generales, la ejecución de las grandes obras marítimas no está exenta de presentar determinadas disfunciones o incluso averías, cuyo análisis debe contribuir a la mejora de los procesos empleados. En particular, las averías acaecidas en los últimos años en obras portuarias han estado esencialmente ligadas a una ejecución inadecuada de dichas obras, por cuanto no se ha referido un eventual déficit en ingeniería o en el diseño de sus proyectos.

En este contexto, cobra una importancia radical la experiencia de los ingenieros ejecutores de obra, tanto por parte de las empresas constructoras, en su calidad de jefes de obra, como por parte de las administraciones portuarias, en calidad de directores de las obras. La *Guía* que ahora se publica no puede ni pretende sustituir esa experiencia del hacedor de obras; sólo pretende subrayar y sintetizar aquellos aspectos que suponen *buenas prácticas* en la ejecución de las obras, al objeto de servir de orientación a la hora de estudiar los condicionantes de una obra, su plan de ejecución, la elección de equipos o de procedimientos constructivos específicos o la fabricación propiamente dicha de determinadas unidades de obra marítima.

Así pues, el contenido de la *Guía* tiene un carácter eminentemente práctico, basado en la experiencia constructiva, referido explícitamente a la ejecución de obras portuarias, quedando por tanto fuera del alcance de esta *Guía* el diseño, cálculo o dimensionamiento de las obras, aspectos éstos que se tratan con detalle en el programa de Recomendaciones de Obras Marítimas que desarrolla Puertos del Estado. Para que la realización de una obra tenga éxito es necesario tanto que su diseño sea correcto como que su ejecución, entre otros aspectos, sea adecuada a las normas constructivas de buena práctica. Esta *Guía* se centra en este último aspecto con la finalidad de prevenir fallos que, por otra parte, son fácilmente evitables con mínimos incrementos de coste comparados tanto con el coste total de las obras como con las consecuencias económicas caso de producirse una avería.

La edición de esta *Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas* ha sido posible gracias al esfuerzo conjunto de un grupo de trabajo constituido por ingenieros portuarios españoles de reconocido prestigio y dilatada experiencia profesional en la ejecución de obra marítima, y que han sido capaces de aportar y fusionar su conocimiento y su experiencia.

Resulta, en fin, una gran satisfacción prologar esta *Guía* como recopilación y síntesis práctica de ejecución de obras, que no aspira a ser exhaustiva ni definitiva, pero que puede orientar y ser referente para los ingenieros dedicados a la construcción de nuestras obras marítimas.

Madrid, julio de 2008

Mariano Navas Gutiérrez

Presidente de Puertos del Estado

Índice

PRÓLOGO

PRESENTACIÓN

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS DE LA GUÍA.....	3
3. ANÁLISIS DEL PROYECTO	5
4. ANALISIS DE CONDICIONANTES	17
5. PLAN DE EJECUCIÓN	31
6. DRAGADOS, RELLENOS, ESCOLLERAS Y PREFABRICADOS	39
7. OBRAS DE ABRIGO	153
8. MUELLES.....	183
9. SUPERESTRUCTURA DE DIQUES Y MUELLES.....	251
10. EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN DE UNA OBRA	279
REFERENCIAS LEGALES Y BIBLIOGRÁFICAS.....	319

ÍNDICE

PRÓLOGO

PRESENTACIÓN

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS DE LA GUÍA	3
3. ANÁLISIS DEL PROYECTO	5
3.1 INTRODUCCIÓN	5
3.2 ASPECTOS CONTRACTUALES	6
3.3 EMPLAZAMIENTO	6
3.4 NIVEL DE REFERENCIA.....	6
3.5 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES	7
3.6 CLIMA MARÍTIMO Y METEOROLOGÍA	8
3.7 TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA.....	9

3.8	GEOLOGIA Y GEOTECNIA.....	9
3.9	SISMICIDAD.....	10
3.10	OTRAS BASES DE PARTIDA	11
3.11	TOMA DE DATOS ADICIONALES Y DE SEGUIMIENTO.....	12
3.12	CANTERAS Y PRÉSTAMOS	13
3.13	REVISIÓN DE LOS CÁLCULOS.....	13
3.14	REVISIÓN DE LOS PLANOS	13
3.15	SECCIONES CONSTRUCTIVAS.....	14
3.16	DISPONIBILIDAD DE SUPERFICIES	15
3.17	PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES	15
3.18	PRESUPUESTO	16
3.19	CONCORDANCIA GENERAL.....	16
4.	ANÁLISIS DE CONDICIONANTES	17
4.1	INTRODUCCIÓN	17
4.2	PLAZO, CALENDARIO.....	18
4.3	DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS.....	20
4.4	MATERIALES PRINCIPALES.....	21
4.5	CLIMA MARÍTIMO Y METEOROLOGÍA	22
4.6	CONDICIONANTES AMBIENTALES.....	23
4.7	CONDICIONANTES ARQUEOLÓGICOS	24
4.8	CONDICIONANTES DE SEGURIDAD	25
4.9	LICENCIAS Y PERMISOS	27
4.10	EXPLANADAS PARA INSTALACIONES Y ACOPIOS.....	27
4.11	ACCESOS DE TRÁFICO.....	28
4.12	INTERFERENCIAS CON LA POBLACIÓN.....	29
5.	ANÁLISIS DEL PLAN DE EJECUCIÓN.....	31
5.1	INTRODUCCIÓN	31
5.2	MEMORIA CONSTRUCTIVA.....	31
5.3	ACTIVIDADES A CONSIDERAR	33
5.4	DISEÑO DE INSTALACIONES.....	36
5.5	CANTIDADES DE OBRA.....	37
5.6	ASIGNACIÓN DE RECURSOS.....	37
5.7	RELACIONES ENTRE ACTIVIDADES.....	37
5.8	PROGRAMA DE TRABAJO	38
5.9	PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN.....	38
6.	DRAGADOS, RELLENOS, ESCOLLERAS Y PREFABRICADOS.....	39
6.1	DRAGADOS.....	39
6.1.1	Definición	39
6.1.2	Condicionantes	39

6.1.3	Elección de equipos.....	43
6.1.4	Control de la operación.....	56
6.1.5	Recomendaciones generales	57
6.1.6	Criterios de medición	57
6.2.	RELLENOS GENERALES	58
6.2.1	Rellenos generales de procedencia terrestre	58
6.2.1.a	Suministro y control de los materiales	58
6.2.1.b	Colocación	60
6.2.1.c	Control geométrico.....	62
6.2.2	Rellenos generales procedentes de dragado.....	63
6.2.2.a	Elección y selección de los materiales	63
6.2.2.b	Colocación	64
6.2.2.c	Control geométrico.....	68
6.2.3	Rellenos especiales.....	68
6.2.3.a	Introducción.....	68
6.2.3.b	Rellenos con materiales contaminados o subproductos de otros procesos	69
6.2.3.c	Rellenos con materiales reciclados	70
6.3.	MEJORA DE TERRENOS	71
6.3.1	Introducción.....	71
6.3.2	Sustitución del terreno.....	72
6.3.3	Precarga	72
6.3.4	Vibración profunda	76
6.3.5	Compactación dinámica	78
6.3.6	Instalación de drenes	80
6.3.7	Inclusiones rígidas.....	82
6.3.8	Inyecciones y otros tipos de mejora	88
6.4.	RELLENO DE TRASDÓS	95
6.4.1	Definición.....	95
6.4.2	Suministro y control del material	95
6.4.3	Colocación.....	96
6.4.4	Filtros	97
6.5.	RELLENOS DE CELDAS DE CAJONES.....	97
6.5.1	Definición.....	97
6.5.2	Suministro y control del material	98
6.5.3	Colocación.....	98
6.6.	RELLENOS LOCALIZADOS.....	99
6.6.1	Definición.....	99
6.6.2	Suministro y control del material	100
6.6.3	Colocación.....	101

6.7. BANQUETA PARA CIMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.....	101
6.7.1 Definición.....	101
6.7.2 Suministro y control del material	101
6.7.3 Colocación.....	103
6.7.4 Control geométrico.....	105
6.8. ENRASE DE BANQUETA PARA CIMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.....	105
6.8.1 Definición.....	105
6.8.2 Materiales	106
6.8.3 Colocación y enrase.....	107
6.8.4 Tolerancia y comprobaciones	108
6.9. CANTERAS	110
6.9.1 Definición.....	110
6.9.2 Materiales	112
6.9.3 Explotación	113
6.9.4 Clasificación, carga, transporte y acopios.....	115
6.10. TODO-UNO Y ESCOLLERAS EN MANTOS DE PROTECCIÓN.....	118
6.10.1 Definición.....	118
6.10.2 Colocación.....	118
6.10.3 Tolerancia y comprobaciones	122
6.11. ESCOLLERAS ARTIFICIALES.....	123
6.11.1 Definición.....	123
6.11.2 Fabricación	124
6.11.3 Manipulación y acopio	126
6.11.4 Colocación.....	131
6.12. FABRICACIÓN DE CAJONES DE HORMIGÓN ARMADO.....	132
6.12.1 Introducción.....	132
6.12.2 Equipos para la construcción de cajones.....	135
6.12.3 Infraestructuras.....	139
6.12.4 Instalaciones.....	142
6.12.5 Actuaciones previas al hormigonado.....	144
6.12.6 Hormigonado.....	146
6.12.7 Botadura.....	148
6.12.8 Preparación para el transporte.....	149
6.12.9 Fondeos provisionales	150
6.12.10 Instalación de equipos varios.....	151
7. OBRAS DE ABRIGO.....	153
7.1. DIQUES EN TALUD.....	153
7.1.1 Definición.....	153
7.1.2 Cargas sobre el terreno.....	154
7.1.3 Prevención de daños producidos por el oleaje durante la construcción ...	155
7.1.4 Taludes y alturas del frente de vertido.....	157

7.1.5	Infraestructuras e instalaciones auxiliares.....	157
7.1.6	Actividades previas	159
7.1.7	Materiales	160
7.1.8	Colocación del núcleo y de los mantos con medios marítimos.....	160
7.1.8.a	Equipos marítimos para la colocación del núcleo y de los mantos	160
7.1.8.b	Elección de equipos	162
7.1.8.c	Secuencia de colocación	164
7.1.8.d	Control de colocación.....	165
7.1.9	Colocación del núcleo y de los mantos con medios terrestres.....	165
7.1.9.a	Secciones de avance.....	165
7.1.9.b	Secuencia de colocación	167
7.1.10	Superestructura de Diques en Talud.....	168
7.1.10.a	Introducción	168
7.1.10.b	Ejecución	168
7.1.11	Instrumentación y control	170
7.2.	DIQUES VERTICALES.....	170
7.2.1	Introducción.....	170
7.2.2	Proceso constructivo.....	172
7.2.3	Dragado del terreno natural	172
7.2.4	Mejora del terreno de cimentación.....	173
7.2.5	Colocación de la banqueta de cimentación	173
7.2.6	Enrase de la banqueta de cimentación	173
7.2.7	Transporte de los cajones	174
7.2.8	Fondeo de los cajones.....	175
7.2.9	Relleno de celdas y juntas	179
7.2.10	Manto de protección de la banqueta. Bloques de guarda.....	180
7.2.11	Espaldón. Superestructura.....	180
7.2.12	Secuencia de colocación	181
8.	MUELLES	183
8.1.	MUELLES DE GRAVEDAD.....	183
8.1.1	Muelles de cajones	183
8.1.1.a	Introducción.....	183
8.1.1.b	Dragado en zanja del terreno natural	185
8.1.1.c	Mejora del terreno de cimentación	185
8.1.1.d	Banqueta de cimentación	190
8.1.1.e	Enrase de la banqueta.....	190
8.1.1.f	Transporte de los cajones.....	190
8.1.1.g	Fondeo de los cajones.....	191
8.1.1.h	Relleno de celdas y juntas	192
8.1.1.i	Relleno de trasdós	192
8.1.1.j	Rellenos generales.....	193
8.1.1.K	Superestructura.....	193

8.1.2	Muelles de bloques	193
8.1.2.a	Introducción.....	193
8.1.2.b	Construcción y enrase de la banqueta de cimentación	195
8.1.2.c	Fabricación de bloques	196
8.1.2.d	Manipulación, transporte y colocación de bloques.....	197
8.1.2.e	Relleno de trasdós	200
8.1.2.f	Rellenos generales.....	200
8.1.2.g	Superestructura.....	200
8.1.3	Muelles de hormigón sumergido	200
8.1.3.a	Introducción.....	200
8.1.3.b	Actividades iniciales	202
8.1.3.c	Preparación del terreno de cimentación.....	203
8.1.3.d	Encofrados	203
8.1.3.e	Hormigonado	206
8.1.3.f	Relleno de trasdós	207
8.1.3.g	Rellenos generales.....	207
8.1.3.h	Superestructura.....	207
8.2.	MUELLES DE PILOTES.....	208
8.2.1	Introducción.....	208
8.2.2	Muelles de pilotes “in situ” ejecutados desde una plataforma terrestre ..	209
8.2.2.a	Relleno de la mota	209
8.2.2.b	Construcción de los pilotes desde la mota	210
8.2.2.c	Construcción parcial de la superestructura	212
8.2.2.d	Dragado del terreno natural y de los rellenos sobrantes.....	212
8.2.2.e	Formación y protección del talud	212
8.2.2.f	Superestructura.....	213
8.2.3	Muelles de pilotes “in situ” ejecutados desde equipos flotantes	213
8.2.3.a	Construcción de pilotes	213
8.2.3.b	Relleno entre pilotes.....	222
8.2.3.c	Superestructura.....	222
8.2.4	Control de la ejecución de pilotes “in situ”	222
8.2.5	Muelle de pilotes prefabricados ejecutados desde medios flotantes.....	223
8.2.5.a	Tipos de pilotes	223
8.2.5.b	Fabricación de pilotes	223
8.2.5.c	Manipulación, transporte y acopio de pilotes.....	225
8.2.5.d	Colocación de pilotes	226
8.2.5.e	Hinca de pilotes	227
8.2.5.f	Control de la hinca	229
8.3.	MUELLES DE PANTALLA.....	230
8.3.1	Definición	230
8.3.2	Muelles de tablestacas	231
8.3.3	Muelle de tablestacas construido desde una plataforma terrestre.....	233

8.3.3 a	Dragado	233
8.3.3 b	Mejora del terreno.....	233
8.3.3 c	Relleno de la explanada	233
8.3.3 d	Tipos de tablestacas.....	233
8.3.3 e	Martillos.....	234
8.3.3 f	Hinca de tablestacas	234
8.3.3 g	Anclajes y rellenos	235
8.3.3 h	Dragado del terreno natural y rellenos sobrantes	236
8.3.3 i	Superestructura	237
8.3.4	Muelles de tablestacas construidos desde equipos flotantes	237
8.3.5	Muelles de pantallas de hormigón	242
8.3.5.a	Introducción	242
8.3.5.b	Dragado.....	243
8.3.5.c	Mejora del terreno.....	243
8.3.5.d	Construcción de la mota	243
8.3.5.e	Construcción de las pantallas	244
8.3.5.f	Anclaje de las pantallas.....	244
8.3.5.g	Dragado del terreno natural y de los rellenos sobrantes	244
8.3.5.h	Superestructura	244
8.4.	MUELLES AUXILIARES Y CARGADEROS.....	245
8.4.1	Introducción	245
8.4.2	Diseño del puerto de servicio	246
8.4.3	Diseño de muelles auxiliares.....	246
8.4.4	Tipologías	247
8.4.5	Cargaderos	247
9.	SUPERESTRUCTURA DE DIQUES Y MUELLES	251
9.1.	INTRODUCCIÓN	251
9.2.	ESPALDONES DE DIQUES EN TALUD	252
9.2.1	Definición y objeto.....	252
9.2.2	Condicionantes	253
9.2.3	Proceso constructivo.....	255
9.2.4	Juntas	258
9.2.5	Controles a corto y largo plazo	260
9.3.	ESPALDONES DE DIQUES VERTICALES.....	260
9.3.1	Definición y objeto.....	260
9.3.2	Condicionantes	261
9.3.3	Proceso constructivo.....	262
9.3.4	Controles a corto y largo plazo	263
9.4.	VIGA CANTIL EN MUELLES DE GRAVEDAD.....	263
9.4.1	Definición y objeto.....	263
9.4.2	Diseño del encofrado	264

9.4.3	Proceso constructivo.....	265
9.4.4	Controles a corto y largo plazo.....	266
9.5.	VIGA TRASERA Y VARIOS.....	267
9.5.1	Definición.....	267
9.5.2	Viga trasera.....	267
9.5.3	Viga riostra.....	269
9.5.4	Canaletas y conducciones.....	269
9.6.	SUPERESTRUCTURA DE MUELLES DE PILOTES.....	271
9.6.1	Objeto.....	271
9.6.2	Tipologías.....	271
9.6.3	Controles de ejecución.....	273
9.7.	SUPERESTRUCTURA DE MUELLES DE PANTALLA.....	273
9.7.1	Objeto.....	273
9.7.2	Proceso constructivo.....	274
9.8.	DEFENSAS Y BOLARDOS.....	274
9.8.1	Objeto.....	274
9.8.2	Defensas.....	275
9.8.3	Bolardos.....	276
10. EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN DE UNA OBRA.....		279
10.1.	INTRODUCCIÓN.....	279
10.2.	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS.....	281
10.3.	ANÁLISIS DEL PROYECTO.....	284
10.4.	ESTUDIO DE CONDICIONANTES.....	288
10.4.1	Plazo y calendario.....	288
10.4.2	Disponibilidad de equipos.....	289
10.4.3	Materiales principales.....	289
10.4.4	Clima marítimo y meteorología.....	290
10.4.5	Condicionantes ambientales.....	290
10.4.6	Condicionantes arqueológicos.....	291
10.4.7	Condicionantes de seguridad.....	291
10.4.8	Licencias y permisos.....	291
10.4.9	Explanadas para instalaciones y acopios.....	292
10.4.10	Accesos de tráfico.....	293
10.4.11	Interferencias con la población.....	293
10.5.	PLAN DE EJECUCIÓN.....	294
10.5.1	Memoria de ejecución.....	294
10.6.	PLANOS.....	309
REFERENCIAS LEGALES Y BIBLIOGRÁFICAS.....		319

Listado de figuras de la guía

CAPÍTULO 1

Figura 1.	Evolución del tráfico marítimo.....	1
-----------	-------------------------------------	---

CAPÍTULO 3

Figura 3.4 A	Estación total.....	7
Figura 3.4 B	Vértice geodésico	7
Figura 3.5	Barrera anticontaminante.....	8
Figura 3.6	Rebase	9
Figura 3.8 A	Vibrocores	10
Figura 3.8 B	SPT	10
Figura 3.9	Mapa sísmico.....	11
Figura 3.11 A	Toma de muestras.....	12
Figura 3.11 B	Ensayo 3D.....	12
Figura 3.12	Frente de cantera.....	13
Figura 3.16	Superficie para instalaciones.....	15

CAPÍTULO 4

Figura 4.1	Puerto de Palma.....	17
Figura 4.2 A	Predicción meteorológica	19
Figura 4.2 B	Regata.....	20
Figura 4.3	Grúa de gran capacidad.....	21
Figura 4.5 A	Red costera boyas.....	23
Figura 4.5 B	Red exterior boyas	23
Figura 4.6 A	Flora marina	24
Figura 4.6 B	Fauna marina	24
Figura 4.7	Restos arqueológicos	25
Figura 4.8	Cámara de descompresión	26
Figura 4.11	Tráfico de obra	29
Figura 4.12	Interferencia con la población.....	30

CAPÍTULO 5

Figura 5.2	Proceso constructivo	32
Figura 5.3 A	Instalaciones de cargaderos y dique flotante.....	34
Figura 5.3 B	Remolque dique flotante.....	35
Figura 5.4 A	Planta de machaqueo de áridos	36
Figura 5.4 B	Planta de fabricación de hormigón.....	36

CAPÍTULO 6.1		
Figura 6.1.2 A	Flora.....	42
Figura 6.1.2 B	Fauna.....	42
Figura 6.1.2 C	Imagen de un pecio obtenida con sonda multihaz	42
Figura 6.1.3 A	Draga de cuchara.....	43
Figura 6.1.3 B	Cuchara bivalva.....	44
Figura 6.1.3 C	Cuchara de pinzas	44
Figura 6.1.3 D	Cuchara hermética.....	44
Figura 6.1.3 E	Cuchara para arenas y fangos.....	44
Figura 6.1.3 F	Gánguil grúa.....	45
Figura 6.1.3 G	Draga retroexcavadora.....	46
Figura 6.1.3 H	Draga retroexcavadora.....	46
Figura 6.1.3 I	Draga de rosario.....	47
Figura 6.1.3 J	Cortador de arcilla dura	48
Figura 6.1.3 K	Cortador de roca	49
Figura 6.1.3 L	Draga de cortador	49
Figura 6.1.3 M	Draga de cortador	49
Figura 6.1.3 N	Draga de succión en marcha.....	50
Figura 6.1.3 O	Vertido con cañón	51
Figura 6.1.3 P	Pontona para perforación.....	54
Figura 6.1.3 Q	Gánguil con apertura de fondo	55
Figura 6.1.3 R	Embarcación auxiliar	55
CAPÍTULO 6.2		
Figura 6.2.1.a	Dúmper.....	59
Figura 6.2.1.b A	Colocación de relleno	61
Figura 6.2.1.b B	Relleno general.....	61
Figura 6.2.2.a	Relleno procedente de dragado	63
Figura 6.2.2.b A	Relleno con tubería.....	65
Figura 6.2.2.b B	Relleno hidráulico	65
Figura 6.2.2.b C	Recinto sectorizado.....	67
Figura 6.2.3.a	Relleno con material contaminado	69
CAPÍTULO 6.3		
Figura 6.3.1	Compactación dinámica	71
Figura 6.3.3 A	Precarga	72
Figura 6.3.3 B	Placa de asiento.....	75
Figura 6.3.4	Vibrosustitución	76
Figura 6.3.5 A	Compactación dinámica y precarga.....	78
Figura 6.3.5 B	Compactación dinámica clásica.....	80
Figura 6.3.5 C	Compactación dinámica rápida.....	80

Figura 6.3.6 A	Columnas encapsuladas.....	81
Figura 6.3.6 B	Mechas de geotextil.....	82
Figura 6.3.6 C	Colocación mechas.....	82
Figura 6.3.7 A	Columnas de grava en fondo marino.....	83
Figura 6.3.7 B	Ejecución Columnas de grava en tierra.....	84
Figura 6.3.8 A	Jet-grouting.....	90
Figura 6.3.8 B	Mezclador para estabilización en masa.....	92
Figura 6.3.8 C	Replanteo de celdas de tratamiento.....	93
Figura 6.3.8 D	Frente de tratamiento.....	94
CAPÍTULO 6.4		
Figura 6.4.1	Relleno de trasdós.....	95
CAPÍTULO 6.5		
Figura 6.5.2 A	Relleno procedente de préstamos.....	98
Figura 6.5.2 B	Relleno procedente de dragado.....	99
CAPÍTULO 6.7		
Figura 6.7.2	Sección banqueteta.....	102
Figura 6.7.3 A	Material banqueteta sobre gánguil.....	103
Figura 6.7.3 B	Gánguil de vertido lateral.....	104
CAPÍTULO 6.8		
Figura 6.8.1	Enrase banqueteta.....	106
Figura 6.8.3 A	Enrasador a gran profundidad.....	107
Figura 6.8.3 B	Enrasador.....	108
Figura 6.8.4	Comprobación del enrase tras fondear el cajón.....	109
CAPÍTULO 6.9		
Figura 6.9.1 A	Cantera en explotación.....	111
Figura 6.9.1 B	Desmante de la propia obra.....	111
Figura 6.9.2	Material de cantera.....	112
Figura 6.9.3 A	Acceso a bancos.....	114
Figura 6.9.3 B	Primer frente.....	114
Figura 6.9.3 C	Segundo frente.....	114
Figura 6.9.3 D	Estado final explotación.....	114
Figura 6.9.3 E	Plan de restauración.....	114
Figura 6.9.4 A	Acopio en cantera.....	115
Figura 6.9.4 B	Carrilera.....	116
Figura 6.9.4 C	Planta de machaqueo.....	117

CAPÍTULO 6.10

Figura 6.10.1	Mantos de protección.....	118
Figura 6.10.2 A	Secuencia constructiva	119
Figura 6.10.2 B	Manto de protección ante el oleaje.....	119
Figura 6.10.2 C	Colocación con retroexcavadora	120
Figura 6.10.2 D	Colocación con grúa	120
Figura 6.10.2 E	Colocación con gánguil.....	121
Figura 6.10.2 F	Colocación con retroexcavadora segundo manto.....	121
Figura 6.10.2 G	Colocación con grúa segundo manto.....	121
Figura 6.10.2 H	Colocación con gánguil segundo manto	121
Figura 6.10.2 I	Acabado mantos	121
Figura 6.10.2 J	Dúmpfer transportando escollera	122
Figura 6.10.2 K	Manto de escollera artificial	122

CAPÍTULO 6.11

Figura 6.11.1 A	Core-loc y Acrópodo II	123
Figura 6.11.1 B	Acrópodo y Ecópodo	123
Figura 6.11.1 C	Colocación Core-locs	123
Figura 6.11.1 D	Manto de Tetrápodos	123
Figura 6.11.2 A	Hormigonado con cinta	124
Figura 6.11.2 B	Vibradores	124
Figura 6.11.2 C	Parque de fabricación año 1947	126
Figura 6.11.2 D	Parque de fabricación actual.....	126
Figura 6.11.2 E	Parque circular de fabricación de Tetrápodos	127
Figura 6.11.3 A	Pinza 1	129
Figura 6.11.3 B	Pinza 2	129
Figura 6.11.3 C	Pinza 3	129
Figura 6.11.3 D	Pinza 4	129
Figura 6.11.3 E	Acopio.....	130
Figura 6.11.4	Colocación.....	131

CAPÍTULO 6.12

Figura 6.12.1 A	Cajón de celdas rectangulares	133
Figura 6.12.1 B	Cajón de celdas circulares.....	133
Figura 6.12.1 C	Fabricación de cajones	134
Figura 6.12.2 A	Dique flotante	135
Figura 6.12.2 B	Encofrados	136
Figura 6.12.2 C	Catamarán.....	137
Figura 6.12.3	Infraestructura para fabricar cajones	140
Figura 6.12.4	Conexión tubería bombeo	144
Figura 6.12.5	Armadura solera	146

Figura 6.12.6 A	Paramento del cajón.....	147
Figura 6.12.6 B	Hormigón del fuste	147
Figura 6.12.6 C	Pontona con armadura solera.....	147
Figura 6.12.6 D	Colocación armadura solera.....	147
Figura 6.12.6 E	Hormigonado solera.....	148
Figura 6.12.6 F	Comienzo hormigonado del fuste.....	148
Figura 6.12.6 G	Fase final hormigonado.....	148
Figura 6.12.7 A	Botadura del cajón	149
Figura 6.12.7 B	Botadura del cajón	149
Figura 6.12.8	Remolque	150
Figura 6.12.9	Fondeo provisional	151

CAPÍTULO 7.1

Figura 7.1.1	Sección dique en talud.....	154
Figura 7.1.2 A	Dragado.....	155
Figura 7.1.2 B	Relleno con medios marítimos (1)	155
Figura 7.1.2 C	Relleno con medios marítimos (2)	155
Figura 7.1.2 D	Acabado dique	155
Figura 7.1.3 A	Avance de un dique en construcción.....	156
Figura 7.1.3 B	Rebases durante la construcción de un dique	156
Figura 7.1.5	Cargadero gánguil.....	158
Figura 7.1.8.a A	Gánguil con apertura de fondo	161
Figura 7.1.8.a B	Escollera artificial en gánguil.....	161
Figura 7.1.8.a C	Gánguil de vertido lateral	161
Figura 7.1.8.a D	Pontonas colocando escollera	162
Figura 7.1.8.b	Gánguil cargado.....	163
Figura 7.1.9 a	Secuencia constructiva dique en talud	166
Figura 7.1.9 b	Colocación de mantos	167
Figura 7.1.10.a	Espaldón de dique en talud	168
Figura 7.1.10.b	Ejecución del espaldón del dique.....	169

CAPÍTULO 7.2

Figura 7.2.1 A	Sección dique vertical	170
Figura 7.2.1 B	Dique-muelle de Málaga	171
Figura 7.2.2	Secuencia constructiva dique vertical.....	173
Figura 7.2.8 A	Fondeo con mar en calma	175
Figura 7.2.8 B	Preparación fondeo	178
Figura 7.2.9	Relleno de celdas	179
Figura 7.2.11 A	Construcción espaldón	181
Figura 7.2.11 B	Acción del mar.....	181

CAPÍTULO 8.1

Figura 8.1.1.a A	Muelle de cajones	183
Figura 8.1.1.a B	Sección muelle de cajones	184
Figura 8.1.1.a C	Secuencia constructiva muelle de cajones.....	185
Figura 8.1.1.a D	Ejemplo de construcción de un muelle de cajones.....	186
Figura 8.1.1.g	Construcción muelle	192
Figura 8.1.2.a A	Sección muelle de bloques.....	194
Figura 8.1.2.a B	Bloques warock.....	194
Figura 8.1.2.a C	Secuencia constructiva muelle de bloques	195
Figura 8.1.2.d	Colocación de bloques con grúa.....	199
Figura 8.1.3.a A	Sección muelle de hormigón sumergido.....	201
Figura 8.1.3.a B	Secuencia constructiva muelle de hormigón sumergido	201
Figura 8.1.3.b	Encofrado.....	202
Figura 8.1.3.d A	Encofrado perdido	204
Figura 8.1.3.d B	Encofrado a cuatro caras.....	204
Figura 8.1.3.d C	Encofrado a dos caras.....	205
Figura 8.1.3.d D	Encofrado a tres caras.....	205
Figura 8.1.3.e	Hormigonado con bomba.....	206

CAPÍTULO 8.2

Figura 8.2.1	Sección muelle de pilotes	208
Figura 8.2.2.b A	Secuencia constructiva muelle de pilotes.....	210
Figura 8.2.2.b B	Colocación de armaduras.....	211
Figura 8.2.2.	Ejemplo de construcción de un muelle de pilotes in situ construido desde plataforma terrestre.....	214
Figura 8.2.3.	Ejemplo de construcción de un muelle de pilotes in situ construido con medios flotantes sobre un fondo marino de arena y roca.....	218
Figura 8.2.5.e A	Hinca de pilotes con cabria	227
Figura 8.2.5.e B	Hinca de pilote metálico con martillo vibrador	228
Figura 8.2.5.f	Prueba de carga.....	230

CAPÍTULO 8.3

Figura 8.3.1	Sección muelle de pantalla	231
Figura 8.3.2.	Hinca de tablestacas desde plataforma terrestre.....	232
Figura 8.3.3 f	Guía de tablestacas	235
Figura 8.3.3 g A	Pantallas de tablestacas	236
Figura 8.3.3 g B	Anclajes	236
Figura 8.3.3 g C	Relleno.....	236
Figura 8.3.3.	Ejemplo de construcción de un muelle de tablestacas construido desde una plataforma terrestre.....	238
Figura 8.3.4 A	Hinca de tablestacas con medios marítimos	237
Figura 8.3.4 B	Secuencia muelle de tablestacas con medios marítimos	242

CAPÍTULO 8.4		
Figura 8.4.1	Puerto de servicio	245
Figura 8.4.3	Muelle auxiliar	246
Figura 8.4.5 A	Cargadero	248
Figura 8.4.5 B	Descarga en gánguil	248
Figura 8.4.5 C	Descarga en gánguil con retroexcavadora	249
CAPÍTULO 9		
Figura 9.2.1 A	Espaldón	252
Figura 9.2.1 B	Espaldón con galería	252
Figura 9.2.1 C	Sección espaldón	253
Figura 9.2.2 A	Construcción espaldón con galería	254
Figura 9.2.2 B	Construcción espaldón	255
Figura 9.2.3 A	Excavación de la caja de la losa	256
Figura 9.2.3 B	Hormigonado de la losa	256
Figura 9.2.3 C	Hormigonado de la parte central	257
Figura 9.2.3 D	Terminación del manto de protección	257
Figura 9.2.3 E	Hormigonado de la parte superior	258
Figura 9.2.4	Esquema de junta machihembrada	260
Figura 9.3.1	Espaldón de dique vertical	261
Figura 9.3.3 A	Espaldón fase 1	262
Figura 9.3.3 B	Espaldón fase 2	262
Figura 9.3.3 C	Encofrado de espaldón de hormigón armado	263
Figura 9.4.2	Carro de encofrado	264
Figura 9.4.3 A	Encofrado viga cantil	265
Figura 9.4.3 B	Encofrado viga cantil	266
Figura 9.5.2 A	Viga trasera	268
Figura 9.5.2 B	Desfase entre vigas trasera y cantil	268
Figura 9.5.3 A	Encofrado peine 1	270
Figura 9.5.3 B	Encofrado peine 2	270
Figura 9.5.3 C	Encofrado peine 3	270
Figura 9.6.2 A	Superestructura	272
Figura 9.6.2 B	Montaje de prefabricados	272
Figura 9.6.2 C	Superestructura hormigonada "in situ"	273
Figura 9.8.1 A	Defensas	274
Figura 9.8.1 B	Defensas	274
Figura 9.8.2	Ensayo de carga	275
Figura 9.8.3 A	Bolardos	276
Figura 9.8.3 B	Bolardos	276
Figura 9.8.3 C	Gancho de escape rápido	277
CAPÍTULO 10		
Figura 10.1 A	Dique en construcción	279

Figura 10.1 B	Dique Botafoc	280
Figura 10.1 C	Dique-muelle.....	281
Figura 10.2 A	Vial de acceso.....	282
Figura 10.2 B	Sección tipo del dique	283
Figura 10.2 C	Freu des Botafoc	283
Figura 10.2 D	Muelle auxiliar	284
Figura 10.3 A	Ensayo en modelo reducido.....	287
Figura 10.3 B	Cajones fondeados	287
Figura 10.3 C	Instalaciones	288
Figura 10.4.8	Boya cardinal	292
Figura 10.4.9	Acopio de áridos.....	293
Figura 10.4.11	Interferencias con la población.....	294
Figura 10.5.1 A	Draga “Volvox Iberia”	295
Figura 10.5.1 B	Draga “Sánchez Guerra”	297
Figura 10.5.1 C	Gánguil 400 m3.....	297
Figura 10.5.1 D	Dique flotante nº 2	299
Figura 10.5.1 E	Preparación fondeo	301
Figura 10.5.1 F	Primer lastrado.....	302
Figura 10.5.1 G	Fondeo definitivo	302
Figura 10.5.1 H	Retirada equipo fondeo	303
Figura 10.5.1 I	Cajón en espera.....	304
Figura 10.5.1 J	Encofrado a cuatro caras	305
Figura 10.5.1 K	Encofrado a dos caras	305
Figura 10.5.1 L	Planta de hormigón.....	308
Figura 10.5.1 M	Bloques de 15 t.....	309
Figura 10.5.1 N	Programa global de trabajo	310

Tablas de la guía

CAPÍTULO 6.1

Tabla 6.1.3.1	Naturaleza del terreno / Tipo de draga	51
Tabla 6.1.3.2	Dragas mecánicas. Ventajas e inconvenientes.....	52
Tabla 6.1.3.3	Dragas de succión. Ventajas e inconvenientes	53

CAPÍTULO 6.3

Tabla 6.3.3	Mejoras producidas por precargas	73
Tabla 6.3.4	Aplicabilidad de los tratamientos de vibración profunda a los distintos tipos de terreno.....	77

CAPÍTULO 7.1

Tabla 7.1.8.b	Ciclo de vertido.....	164
---------------	-----------------------	-----

CAPÍTULO 7.2

Tabla 7.2.12	Diques verticales. Resumen de actividades	181
--------------	---	-----

CAPÍTULO 10.2

Tabla 10.2	Tipología de cajones	282
------------	----------------------------	-----

CAPÍTULO 10.5

Tabla 10.5.1.1	Características de los cajones	298
Tabla 10.5.1.2	Ciclo de fabricación de cajones.....	299
Tabla 10.5.1.3	Alturas de ola y períodos.....	303
Tabla 10.5.1.4	Fabricación de bloques.....	308

Introducción

En España el tráfico portuario en los puertos de interés general ha pasado de 30 millones de toneladas en el año 1950 a 462 millones en el año 2006. Este aumento es especialmente significativo en los últimos 6 años, que presentan tasas de crecimiento interanual del 5'3%, tendencia que previsiblemente se mantendrá en el futuro, como se representa en la figura 1.

TRÁFICO PORTUARIO TOTAL

Millones de toneladas

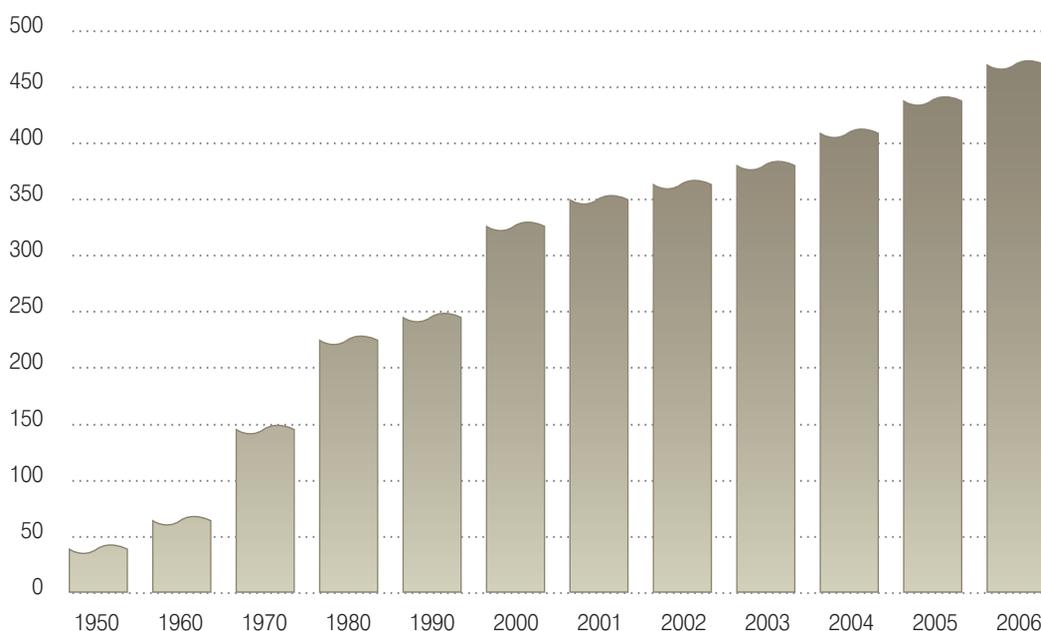


Figura 1. Evolución del tráfico marítimo

Para dar respuesta a las necesidades que la actividad marítima demandaba, el Ministerio de Fomento ha acometido la construcción de un gran número de instalaciones portuarias que requieren la participación de numerosos técnicos altamente cualificados.

La ley 27/1992, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante, establece entre las competencias de Puertos del Estado la formación, la promoción de la investigación y el desarrollo tecnológico en materias vinculadas con la ingeniería portuaria.

El Organismo Público Puertos del Estado en su afán de dar respuesta a los retos planteados, y a los efectos de servir de orientación y recomendación para los directores de obras marítimas y portuarias, consideró de interés sintetizar y recoger en un documento los distintos aspectos que suponen *buenas prácticas* en la ejecución de obras, conforme a la experiencia adquirida a lo largo de los años en la construcción de obra marítima en España.

El resultado ha sido plasmado en esta guía que pretende constituir un referente para todas aquellas personas e instituciones implicadas en procesos constructivos de obras marítimas.



Objetivos de la guía

El objetivo de esta guía es servir de ayuda para el análisis, la planificación y la ejecución de las obras marítimas.

Va destinada fundamentalmente a los Directores de Obra, al margen de la utilidad que presenta para las asistencias técnicas y para los responsables de la ejecución de las obras marítimas; no es objetivo de la guía servir de orientación para la redacción de proyectos.

El Director de obra tiene como misión conseguir que la ejecución de las obras se desarrolle en forma óptima, tanto en sus aspectos técnicos como en los administrativos, legales y económicos; en muchos casos, los mayores problemas que se le plantean se refieren a cuestiones administrativas y económicas.

En esta Guía se hacen recomendaciones exclusivamente sobre aspectos técnicos de ejecución de obras, sin perjuicio de que el Director de obra tenga que tomar en consideración todos los demás aspectos inherentes a la ejecución del contrato. En particular, debe incidir en el cumplimiento de la legislación vigente, incluida la de prevención de riesgos laborales, controlando si se encuentran disponibles los Libros de Visitas, Libro de Incidencias y Libro de Ordenes, cuidando las anotaciones de éste para que sean claras y no se presten a diferentes interpretaciones. Asimismo, el Director de obra debe extremar el estudio del Proyecto vigente y de la documentación de la Oferta adjudicada, en la que se describa la forma de ejecutar las obras, maquinaria a emplear, y programa de trabajos.

Normalmente los Proyectos se estructuran en los siguientes documentos:

- DOCUMENTO Nº 1 • MEMORIA Y ANEJOS.
- DOCUMENTO Nº 2 • PLANOS.
- DOCUMENTO Nº 3 • PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES.
- DOCUMENTO Nº 4 • PRESUPUESTO.

La Oferta del Contratista se articula de acuerdo a lo dispuesto en el Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares para la Contratación (PCAP) de cada obra concreta.

Por lo general el contenido técnico relativo a la ejecución de la obra incluye, entre otros, los siguientes documentos:

- MEMORIA CONSTRUCTIVA Y PROGRAMA DE TRABAJOS.
- PLAZO DE EJECUCION.
- PROGRAMA DE ACTUACIONES MEDIAMBIENTALES.
- MEMORIA DE SEGURIDAD Y SALUD.

Para el desarrollo de estos documentos en los PCAP se suelen indicar una serie de aspectos a desarrollar en la Oferta siendo algunos de ellos específicos en función del tipo de obra.

El contenido de la *Guía* se ha articulado de forma que sirva al Director de una obra a lo largo del desarrollo del Contrato, para lo cual se estructura en cuatro partes:

Primera, el ANALISIS DEL PROYECTO, de forma que permita su conocimiento y verificar que contiene toda la información necesaria para que se puedan construir las obras.

Segunda, el ANALISIS DE LOS CONDICIONANTES de la ejecución de las obras, tales como el entorno, las normativas, los medios materiales, la climatología, etc., cuyo conocimiento es imprescindible para planificar los trabajos.

Tercera, el ANALISIS DEL PLAN DE EJECUCION, con los procedimientos de seguimiento y control, herramientas que conducen a lograr una correcta ejecución de las obras.

Cuarta, el ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN, en el que se incluyen consideraciones y recomendaciones sobre aquellos aspectos constructivos de las unidades de obra más representativas en el ámbito de las obras marítimas y portuarias (diques, muelles, dragados y explanadas).

Se ha elegido este esquema porque es el orden lógico para el estudio y planificación de una obra. Las partes segunda, tercera y cuarta deben estar necesariamente recogidas en la Oferta del Contratista, con independencia de que algunos aspectos puedan también estar incluidos en el Proyecto.

Finalmente, se incluye como ejemplo la planificación de una obra concreta.

Análisis del proyecto

3.1 INTRODUCCIÓN

Para verificar que la planificación de una obra es correcta, se deben revisar los aspectos más relevantes del Proyecto..

Normalmente los Proyectos se estructuran en los siguientes documentos:

- DOCUMENTO N° 1 • MEMORIA Y ANEJOS.

La Memoria incluye, entre otros, los siguientes apartados:

- Antecedentes.
- Objeto del Proyecto.
- Estudio de Soluciones Alternativas.
- Descripción de la Solución Adoptada.

Además contiene una serie de Anejos, siendo los más importantes:

- Bases de Partida.
- Clima Marítimo.
- Geología y Geotecnia.
- Dinámica del Litoral.
- Cálculos Estructurales.
- Justificación de precios.
- Procedimientos Constructivos y Programa de Trabajo.
- Servicios Afectados.
- Plan de Seguridad y Salud.
- Plan de Control de Calidad.
- Plan de Vigilancia Medioambiental.
- Actuaciones Arqueológicas.
- Gestión de escombros

- DOCUMENTO N° 2 • PLANOS.
- DOCUMENTO N° 3 • PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES.
- DOCUMENTO N° 4 • PRESUPUESTO.

Este documento incluye:

- Mediciones.
- Cuadro de Precios nº 1.
- Cuadro de Precios nº 2.
- Presupuesto.

■ 3.2 ASPECTOS CONTRACTUALES

El CONTRATO incorpora los siguientes documentos que deben ser analizados:

- El Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares para la Contratación (PCAP).
- El Proyecto.
- La Oferta presentada por el Contratista en tanto en cuanto da cumplimiento a las exigencias del PCAP.
- El documento de Adjudicación, que incluye la fecha de inicio, el plazo y el presupuesto del Contrato.
- Otros documentos como la Declaración de Impacto Ambiental.

En cuanto al Proyecto se refiere son documentos contractuales:

- Planos
- Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares
- Cuadros de Precios 1 y 2

■ 3.3 EMPLAZAMIENTO

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. Asimismo, se verificará que el Proyecto suministra la información necesaria para identificar las bases de replanteo.

■ 3.4 NIVEL DE REFERENCIA

Se comprobará que el Proyecto establece inequívocamente el nivel de referencia para las cotas y los calados, materializado en las proximidades de la obra.

Si está prevista la instalación de mareógrafos, los datos que éstos suministren estarán relacionados con el nivel de referencia.

En la figura 3.4 A se muestra una estación total en posición para controlar el fondeo de un cajón y la figura 3.4 B corresponde a la placa de identificación de un vértice geodésico.



Figura 3.4 A Estación total



Figura 3.4 B Vértice geodésico

3.5 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Es obligatorio cumplir las normas ambientales en vigencia y, caso de que los hubiere, se analizarán detenidamente:

- El Estudio de Impacto Ambiental (E.I.A.).
- La Declaración de Impacto Ambiental (D.I.A.).
- El Plan de Vigilancia Ambiental (P.V.A.).
- Plan de Vigilancia de vertido de dragados.

Los aspectos ambientales pueden limitar:

- Los períodos de trabajo de algunas unidades de obra:
 - Épocas de cría o apareamiento de especies marinas y aves.
 - Actividades pesqueras.
 - Actividades turísticas y deportivas.
- Los métodos de ejecución en tanto producen:
 - Polvo.
 - Ruidos.
 - Olores.
 - Impacto visual.

- La adopción de medidas complementarias:
 - Barreras para evitar la contaminación y la turbidez de las aguas (figura 3.5).
 - Corrección de las posibles afecciones a las playas.
 - Actuaciones en canteras, préstamos y vertederos.
 - Instalaciones.
 - Protección o recuperación de restos arqueológicos.



Figura 3.5 Barrera anticontaminante

Generalmente, la Declaración de Impacto Ambiental (D.I.A.) contempla los dragados, las canteras, el transporte y la puesta en obra de los materiales de relleno, así como el calendario y el horario de los trabajos.

3.6 CLIMA MARÍTIMO Y METEOROLOGÍA

Normalmente en los proyectos se incluye información sobre todos o algunos de los aspectos siguientes:

- Las alturas, los períodos y la excedencia de determinadas alturas de ola.
- Las mareas y las elevaciones del nivel del mar.
- Las corrientes
- El viento
- La lluvia
- La niebla
- La temperatura

Esta información es necesaria para estudiar la resistencia de las diferentes estructuras frente a las sollicitación producidas por el mar, y/o la funcionalidad de la solución.

En la figura 3.6 se aprecia el rebase producido durante un temporal.



Figura 3.6 Rebase

3.7 TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

Se verificará que los datos topográficos y batimétricos incluidos en el Proyecto son correctos, en particular:

- Extensión, a fin de verificar que incluyen la totalidad de las obras y del entorno afectado.
- Sistema de obtención de datos.
- Fecha de obtención de datos.
- Densidad de información.

3.8 GEOLOGIA Y GEOTECNIA

En cualquier infraestructura es fundamental el conocimiento de las características de los terrenos donde se ubica.

Se deberá comprobar que el Proyecto define inequívocamente la naturaleza y la situación de los niveles de los diferentes terrenos, así como los parámetros geotécnicos de éstos, en particular, aquéllos que determinan:

- La capacidad portante del terreno.
- La estabilidad de los taludes.
- Las actuaciones para mejorar los terrenos.
- Los procesos de ejecución de cimentaciones profundas.

Para ello se revisarán los datos que han permitido determinar las características geotécnicas del terreno, en especial los referentes a:

- Campañas geofísicas.
- Lanzas de agua o aire.
- Vibrocores (figura 3.8 A).
- Sondeos mecánicos.
- Ensayos “*in situ*” (figura 3.8 B).
- Ensayos en laboratorio.
- Caracterización de los materiales de dragado.
- Informe geotécnico.



Figura 3.8 A Vibrocores



Figura 3.8 B SPT

3.9 SISMICIDAD

Se deberá comprobar que en el Proyecto se aplica la normativa sísmica vigente en el emplazamiento de las obras.

En la fecha de publicación de esta guía, para las obras realizadas en España es de obligado cumplimiento la NORMA SISMORRESISTENTE NCSE-02, cuyo mapa sísmico está representado en la figura 3.9.

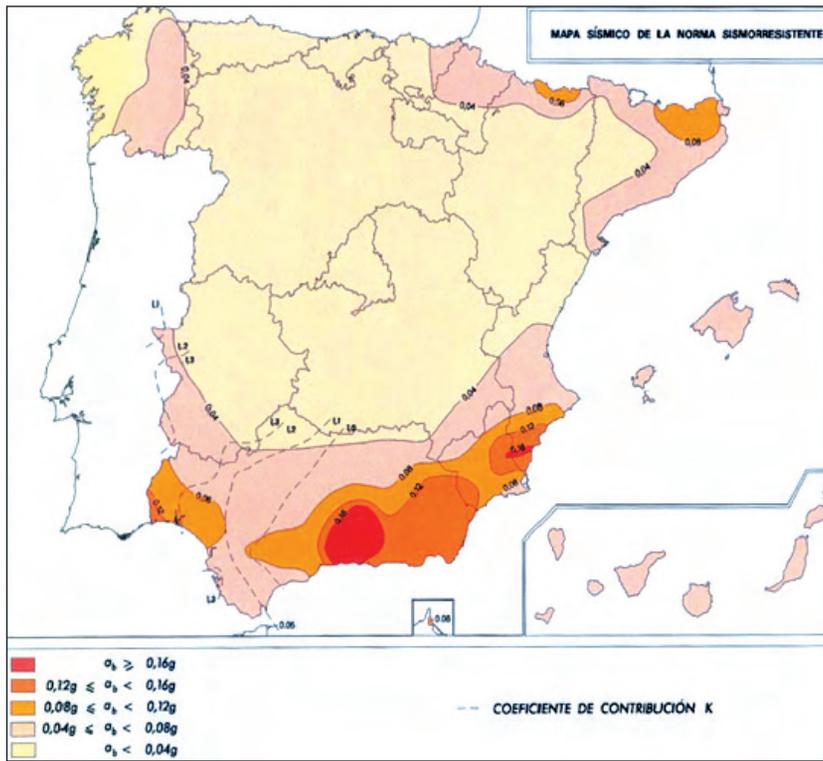


Figura 3.9 Mapa sísmico

3.10 OTRAS BASES DE PARTIDA

Se verificará que el Proyecto incluye en sus Anejos:

- Las características de los materiales de construcción.
- Las características de los buques tipo.
- Las cargas de uso y explotación.
- Las cargas de atraque y amarre.
- La repercusión de otros proyectos que lo puedan afectar o verse afectados por él.

No es habitual que en el proyecto figuren:

- Los medios de producción previstos: dragas, gánguiles, cajoneros, grúas, etc.
- Los muelles auxiliares y, en su caso, puertos de servicio y fondeaderos.

Sin embargo es imprescindible que figure en la oferta del contratista.

3.11 TOMA DE DATOS ADICIONALES Y DE SEGUIMIENTO

En ocasiones en el Proyecto se incluye la realización de campañas de toma de datos (figura 3.11 A), ensayos (figura 3.11 B) y análisis adicionales para verificar el grado de fiabilidad de los parámetros supuestos en el mismo. Estas campañas pueden tener un coste elevado y requerir un plazo temporal amplio.



Figura 3.11 A Toma de muestras



Figura 3.11 B Ensayo 3D

Otras veces, entre la ejecución de dos fases de la obra, se debe esperar un período de tiempo hasta obtener determinados coeficientes o parámetros de asiento, consolidación, drenaje, protección frente al oleaje, etc., y su comprobación requiere campañas, monitorizaciones, instrumentaciones, etc.

En las obras que se ejecuten a mar abierto o con poca protección frente al oleaje, se comprobará si el Proyecto o bien la oferta prevén la implantación de algún sistema de predicción

de oleaje para poder programar, con suficiente antelación, los procesos de ejecución de las diferentes actividades, su rendimiento y la seguridad durante la ejecución de los trabajos.

3.12 CANTERAS Y PRÉSTAMOS

Se comprobará que las canteras, préstamos o yacimientos concretos (figura 3.12) previstos en el proyecto:

- Proporcionan materiales que cumplen las especificaciones requeridas.
- Tienen capacidad para suministrar las cantidades de material necesario.
- Disponen de los correspondientes permisos.



Figura 3.12 Frente de cantera

3.13 REVISIÓN DE LOS CÁLCULOS

Se comprobará que las diferentes unidades de obra están justificadas mediante los pertinentes cálculos. Para las fases constructivas se tendrá en cuenta lo dicho en el punto 3.15.

3.14 REVISIÓN DE LOS PLANOS

Se comprobará que los planos del Proyecto definen la obra con el detalle suficiente para poder construirla correctamente, a la vez que permiten medir las distintas unidades de obra de forma inequívoca.

3.15 SECCIONES CONSTRUCTIVAS

En los proyectos está estudiada y comprobada la estabilidad de las secciones definitivas de la obra. Sin embargo, en ocasiones, no está estudiada la estabilidad de las fases intermedias.

Las fases provisionales o estados intermedios condicionan los procedimientos de ejecución y los plazos. Por ello, es muy importante verificar cuales son las fases intermedias o constructivas que se consideran en el Proyecto y las bases de partida que se han utilizado. Los períodos de retorno y coeficientes de seguridad deben ser acordes con la provisionalidad de estas situaciones intermedias de las obras.

Si alguno de los estados intermedios no estuviera verificado en el Proyecto, deberá identificarse y se realizarán las comprobaciones suficientes para asegurar que las obras, en estos estados analizados, tienen la resistencia requerida. Se dejará constancia por escrito de las comprobaciones realizadas.

De forma orientativa se reseñan los aspectos más frecuentes de las fases intermedias que deben analizarse:

DIQUE EN TALUD

- Sección del núcleo:
 - Cota de coronación y ancho de la plataforma de trabajo sobre la que se avanza durante la construcción.
 - Estabilidad frente al oleaje y rebases.
- Mantos intermedios de escollera:
 - Estabilidad frente al oleaje y rebases.
 - Secuencia y desfases de las fases constructivas.
- Taludes interiores:
 - Grado de exposición al oleaje durante las distintas fases constructivas.
- Espaldones
 - Secuencia de construcción.
 - Conexión entre las distintas fases del espaldón (juntas estructurales y de construcción).

CAJONES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

- Acciones durante la botadura, el transporte y los fondeos (tanto provisionales como definitivos).
- Relleno de celdas. Diferencia máxima de la altura del relleno en celdas contiguas.

MUELLES

- Relleno y filtro: Característica, modo y secuencia de colocación, drenaje, compactación, estabilidad de motas, etc.
- Superestructura. Conexión con la estructura.
- Asientos: Estimación de los asientos para realizar las correcciones oportunas con el fin de ajustar la cota de coronación.

3.16 DISPONIBILIDAD DE SUPERFICIES

Se comprobará que el Proyecto o la Oferta en su caso, contemplan la necesaria disposición de zonas de trabajo, tanto terrestre como marítima (figura 3.16), para posibilitar:

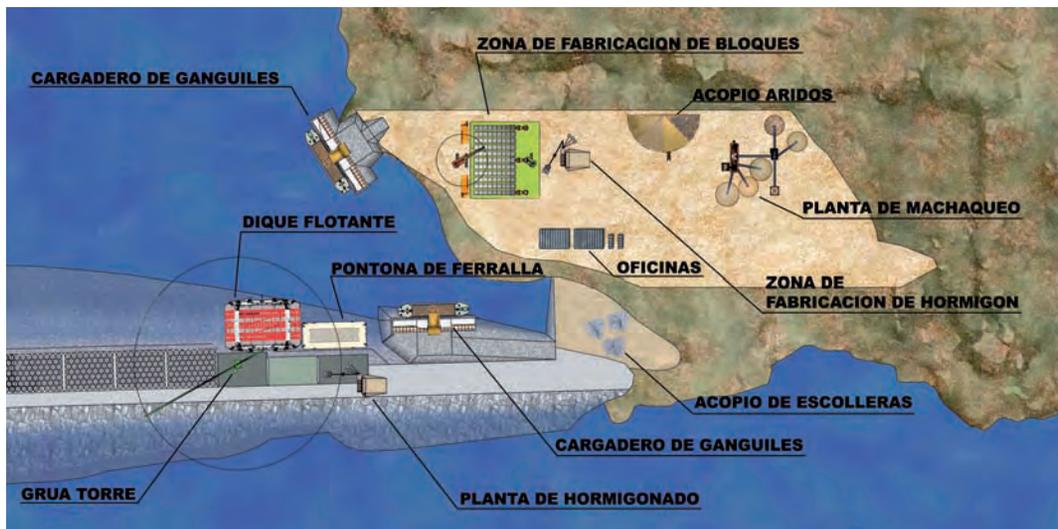


Figura 3.16 Superficie para instalaciones

- Acopios, parques de fabricación, plantas de fabricación de áridos y hormigones, talleres de elaboración de armaduras, oficinas, etc.
- Zonas abrigadas para el fondeo provisional, muelles para el atraque de medios flotantes, fabricación de cajones, etc.

3.17 PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

Se estudiará el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, dado que en él se reflejan las prescripciones que deben cumplir los materiales, las instrucciones para su puesta en obra, la forma y los criterios de medición y abono de las diferentes unidades.

Generalmente se divide en los siguientes capítulos:

- Descripción de las obras y normas aplicables.
- Condiciones que deben satisfacer los materiales.
- Ejecución de las obras.
- Medición y abono de las obras.
- Disposiciones generales.

■ 3.18 PRESUPUESTO

Se verificará que el Proyecto incluye:

- Los criterios de medición.
- La medición de las distintas unidades, para lo cual se realizará una minuciosa comprobación de las mismas.
- Los cuadros de precios debidamente desglosados.
- El Presupuesto.
- Las cláusulas de revisión de precios y las condiciones de su aplicación.

■ 3.19 CONCORDANCIA GENERAL

Se comprobará la concordancia y la coherencia entre los distintos documentos del Proyecto: Memoria y Anejos, Planos, Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y Presupuesto.

Análisis de condicionantes

4.1 INTRODUCCIÓN

Después del análisis del Proyecto se deben estudiar todos aquellos aspectos que condicionan la ejecución de los trabajos en las obras marítimas. A este respecto cabe señalar que se consideran condicionantes específicos de las obras marítimas aquéllos que influyen en la navegación o flotación de embarcaciones y en los procesos constructivos, como por ejemplo las limitaciones durante el verano en la ejecución de obras marítimas en el Puerto de Palma de Mallorca (figura 4.1).



Figura 4.1 Puerto de Palma de Mallorca

4.2 PLAZO, CALENDARIO

En el Contrato se han fijado, entre otros aspectos:

- El plazo de las obras.
- Los plazos parciales de ejecución si los hubiere.
- La fecha de inicio de los trabajos.

En la oferta se ha elaborado un Cronograma en el que se establecen las fechas de inicio de cada parte de la obra, las fechas finales de cada plazo parcial y la fecha de terminación de los trabajos.

Para verificar el CALENDARIO DE TRABAJO se analizará la meteorología, el clima marítimo, las normativas a aplicar, el Plan de Vigilancia Ambiental, los condicionantes geotécnicos y la operatividad del puerto.

- La METEOROLOGÍA puede condicionar:
 - El número de días útiles de trabajo en cada uno de los períodos considerados (en principio meses). Éstos se obtienen descontando el número de días en los que, previsiblemente, no se va a poder trabajar debido a las inclemencias del tiempo.
 - El número de horas diarias de trabajo. La jornada laboral útil puede variar en función de determinadas condiciones climatológicas, tales como las horas de luz diurna, la niebla, la temperatura, el viento, la lluvia, etc.

La meteorología puede afectar a la totalidad de las actividades constructivas, o bien sólo a alguna de ellas: el hormigonado en tiempo frío, la pavimentación con lluvia, los trabajos con grúas en presencia de fuertes vientos, etc.

La figura 4.2 A muestra un mapa de predicción meteorológica.

En el CALENDARIO DE TRABAJO se tendrán en cuenta los períodos (horas, días o meses) en los que no se puede trabajar por las condiciones climatológicas.

- El CLIMA MARÍTIMO puede condicionar de forma importante las actividades de construcción de obras en zonas no abrigadas, siendo necesario realizar una previsión de los días de trabajo para cada actividad en cada uno de los meses. Para ello es recomendable efectuar un ANÁLISIS DE EXCEDENCIAS de las alturas de ola y de los períodos de las mismas, lo que unido a las limitaciones operativas de los equipos permitirá estimar, para cada período temporal, los días y horas en los que previsiblemente será posible trabajar.

En ocasiones, el análisis de excedencias y la operatividad de los equipos podrán obligar a establecer períodos prolongados de inactividad para determinados trabajos.

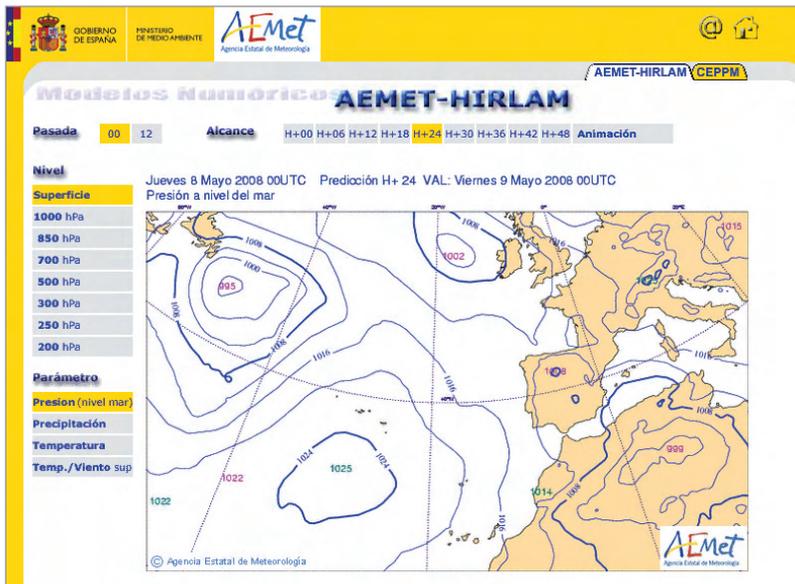


Figura 4.2 A Predicción meteorológica

La marea condiciona el horario de trabajo al que deben ajustarse actividades como el hormigonado del espaldón y de la superestructura de los muelles, las botaduras de los cajones y el vertido de gánguiles, entre otros.

- LAS NORMATIVAS en algunos casos limitan el horario de trabajo, llegando a prohibir algunas actividades en fechas o períodos concretos. Es el caso de las fiestas locales, los fines de semana, el período estival, los festivos establecidos por convenio, etc.
- El PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL puede prohibir la realización de algunos trabajos, en particular los de dragado y vertido, en determinadas épocas del año que coinciden con los períodos de cría de algunas especies, el levantamiento de la veda de pesca o la afluencia turística en el entorno.
- LOS CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS en ocasiones limitan los plazos, al exigir períodos de tiempo para la consolidación o el drenaje entre diferentes fases constructivas.
- LA OPERATIVIDAD DEL PUERTO puede establecer restricciones al horario de trabajo. Esta circunstancia ocurre cuando arriban cruceros turísticos, se celebran eventos deportivos (figura 4.2 B), se realizan maniobras navales, se espera la llegada de buques con mercancías peligrosas, etc.

Un calendario establecido sobre la base de las consideraciones anteriores, unido a un control real de la variabilidad de los elementos que condicionan los rendimientos puede explicar las desviaciones de los plazos y, en consecuencia, obligar a reconsiderar los rendimientos efectivos de los equipos.



Figura 4.2 B Regata

4.3 DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS

En algunas obras marítimas se requiere la utilización de equipos de elevado coste y limitada disponibilidad. Tal es el caso de:

- Dragas.
- Gánguiles para el vertido de escolleras.
- Equipos para el enrase de banquetas.
- Equipos para la fabricación de cajones flotantes.
- Equipos de buceo.
- Grúas de gran capacidad (figura 4.3).
- Pontonas, cabrias, etc.
- Equipos para transportes especiales

Igualmente, es frecuente que los grandes volúmenes a realizar requieran instalaciones importantes:

- Plantas de machaqueo.
- Plantas de hormigón.



Figura 4.3 Grúa de gran capacidad

- Parques para la fabricación de bloques de hormigón u otros prefabricados.
- Encofrados de grandes dimensiones.

La disponibilidad de estos equipos e instalaciones condicionan el resto de las actividades y el total de las obras, por lo que asegurar su concurrencia en fecha y forma, de acuerdo con la oferta del contratista, se convierte en un aspecto de suma importancia dentro del proceso constructivo.

4.4 MATERIALES PRINCIPALES

En las obras marítimas es frecuente la utilización de materiales en cantidades que exceden las capacidades de suministro del entorno:

- Materiales para rellenos.
- Materiales de cantera: escolleras y todo-uno.
- Áridos para hormigones.
- Cementos.
- Aceros.

Se deberá realizar un estudio inicial para confirmar la disponibilidad de los materiales previstos en la oferta del contratista que se van a utilizar en grandes cantidades para determinar, en su caso, la necesidad de ampliación de los medios de producción previstos o, incluso, la posibilidad de abrir nuevas instalaciones para garantizar el suministro de materiales.

En ocasiones es conveniente recurrir al establecimiento de acopios de aquellos materiales que vayan a ser requeridos a ritmos superiores a los que puedan ser suministrados. Ello sucede cuando los plazos de fabricación u obtención de los materiales son superiores a los establecidos en el Cronograma de ejecución de la obra.

4.5 CLIMA MARÍTIMO Y METEOROLOGÍA

En las obras marítimas, especialmente en las situadas en zonas no protegidas, los climas marítimo y atmosférico condicionan de forma importante los trabajos, llegando con frecuencia a imposibilitar parcialmente su realización e, incluso, produciendo daños en la parte de obra ya ejecutada.

Al objeto de minimizar los riesgos de daños a causa de los fenómenos meteorológicos se establecerán dos tipos de sistemas:

- Un sistema de predicción meteorológica, adecuado a los trabajos que se realicen y al lugar en que se ejecuten. Este sistema estará referido a todos o alguno(s) de los siguientes parámetros:
 - Marea.
 - Oleaje: altura, período, dirección y persistencias.
 - Corrientes.
- Un sistema de predicción meteorológica de todos o alguno(s) de los siguientes parámetros:
 - Niebla.
 - Temperatura.
 - Velocidad del viento.
 - Pluviometría.

Es conveniente instalar boyas de oleaje, correntímetros, mareógrafos y estaciones meteorológicas en obras donde los climas marítimo y atmosférico influyan de forma determinante en los procesos constructivos.

El Agencia Estatal de Meteorología en su página Web www.aemet.es facilita las previsiones atmosféricas y marítimas. El Organismo Público Puertos del Estado www.puertos.es opera un sistema de predicción de oleaje destinado a las Autoridades Portuarias que en su caso puede ser suministrado a las personas interesadas que efectúen trabajos para las mismas.

Puertos del Estado gestiona y mantiene un sistema de boyas costeras y en aguas profundas (figuras 4.5 A y B) que transmite información en tiempo real.



Figura 4.5 A Red costera boyas



Figura 4.5 B Red exterior boyas

El conocimiento de las capacidades de trabajo de las máquinas y de los equipos para distintos valores de los parámetros enunciados permitirá establecer un sistema de alarmas, de forma que las mismas avisen cuando se vayan a sobrepasar los umbrales fijados y, en consecuencia, hacen posible actuar de acuerdo con los procedimientos establecidos para situaciones de riesgo.

Se recomienda archivar los registros de las mediciones, puesto que pueden ser de utilidad a la hora de analizar desviaciones en los plazos establecidos, al mismo tiempo que permiten disponer de experiencias empíricas para futuros proyectos.

4.6 CONDICIONANTES AMBIENTALES

El cumplimiento de las prescripciones recogidas en los documentos que aseguran la protección ambiental -la DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (D.I.A.), el ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (E.I.A.), el PLAN DE VIGILANCIA AMBIENTAL (P.V.A.)-, así como las disposiciones de los distintos organismos -europeos, estatales, autonómicos y locales-, que

reglamentariamente forman parte de los proyectos, influyen en los plazos y en los procesos de ejecución de las unidades de obra.

Desde el punto de vista ambiental, en las obras marítimas se debe prestar especial atención a:

- La flora y la fauna marina (figuras 4.6 A y B) que se debe respetar balizando, evitando vertidos directos con la colocación de barreras y aterramientos por sedimentación e instalando en caso necesario correntímetros, que indiquen la dirección de las corrientes que transportan los sólidos en suspensión hacia zonas sensibles.
- Los vertidos de materiales contaminantes procedentes del dragado.

Es recomendable analizar las muestras obtenidas en distintas fases de la obra:

- Antes de iniciar los trabajos que puedan tener incidencia ambiental se extraerán muestras con distintas direcciones e intensidades de las corrientes, direcciones y altura de ola y con mareas tanto en pleamar como en bajamar.
- Durante la ejecución de las obras, se tomarán muestras en la forma y manera que determine el Plan de Vigilancia Ambiental.
- Una vez finalizadas las obras, se obtendrán y se analizarán muestras para determinar la afección a las mismas, ya que en ocasiones las obras marítimas crean un entorno favorable para la fauna y flora marinas.



Figura 4.6 A Flora marina



Figura 4.6 B Fauna marina

4.7 CONDICIONANTES ARQUEOLÓGICOS

En algunas obras, y como consecuencia de la Declaración de Impacto Ambiental, puede ser necesario adoptar medidas para preservar restos arqueológicos, lo que puede implicar la realización de las siguientes actuaciones:

- Estudio de la posibilidad de existencia de restos arqueológicos sobre la base de la documentación histórica existente.
- Estudio previo al inicio de las obras para detectar los posibles restos a partir de estudios cartográficos, geofísicos, hidrográficos, etc.
- Proyecto de recuperación o preservación de los restos descubiertos (figura 4.7).
- Control de la ejecución de la obra, principalmente de los dragados.

Estos condicionantes pueden afectar tanto a la fase de los estudios previos a la elaboración del Proyecto, al Proyecto en sí, a una fase previa al inicio de los trabajos o bien a la ejecución de la obra. Habrá que considerarlo en el Cronograma y disponer, en su caso, los medios para acometer los trabajos que se requieran.

Se recogerá y se archivará la documentación de los trabajos que puedan afectar al patrimonio arqueológico.



Figura 4.7 Restos arqueológicos

■ 4.8 CONDICIONANTES DE SEGURIDAD

En las obras marítimas, además de los riesgos que habitualmente existen en las grandes obras civiles derivados de actividades como la explotación de canteras, transporte

de materiales, fabricación de elementos de hormigón, manejo de cargas con grúas..., existen otros riesgos que obligan a tomar medidas de seguridad específicas. Entre ellos destacan:

- Interferencias con el tráfico marítimo para lo que habrá que proyectar y colocar el correspondiente balizamiento.
- Trabajos submarinos con buzos siendo de obligado cumplimiento la normativa vigente que, con frecuencia, exige la instalación de una cámara de descompresión (figura 4.8).
- Riesgo de accidentes por el impacto del oleaje sobre las personas y los equipos. Se hace hincapié en que la altura de la ola máxima puede alcanzar el doble de la altura de la ola significativa, produciéndose rebases que no son previsibles a la vista del estado del mar. Además, las olas reflejadas y las afectadas por la presencia de bajos pueden amplificar de manera muy importante la altura de la ola incidente.
- Riesgos derivados de la colocación y/o vertidos de materiales con medios marítimos o terrestres.
- Trabajos con medios flotantes sometidos a la acción del mar.

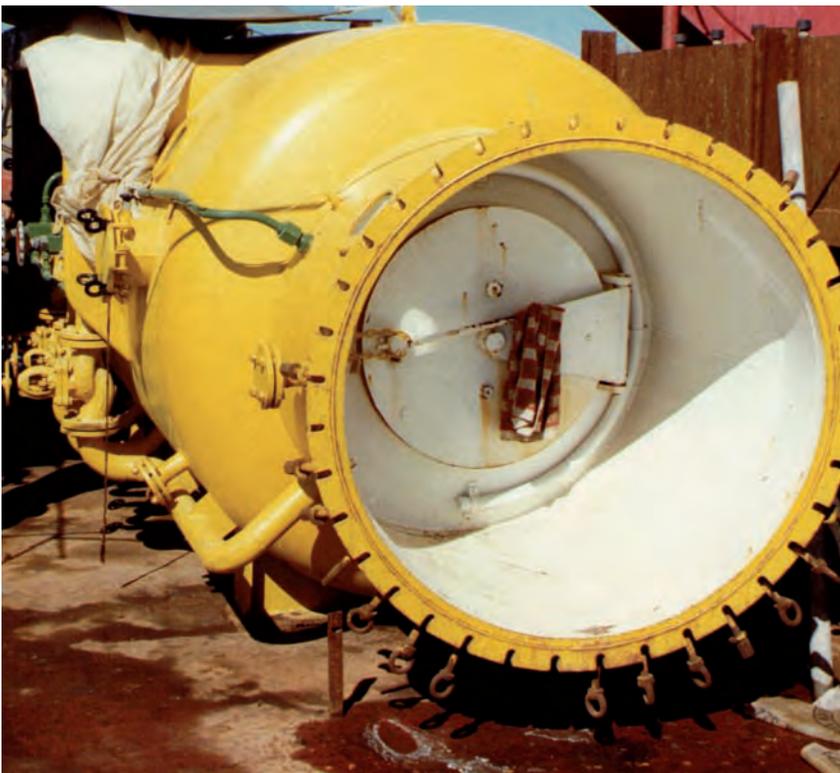


Figura 4.8 Cámara de descompresión

- Fabricación, transporte y fondeo de cajones de hormigón. Para estas operaciones se habrán dispuesto en el proceso de fabricación los elementos de seguridad necesarios, ganchos, elementos de sujeción de redes, escalas, etc.
- Utilización de explosivos.

4.9 LICENCIAS Y PERMISOS

Los permisos que se requieren para llevar a cabo la realización de una obra marítima son, a menudo, numerosos:

- Dentro del ámbito portuario en lo referente a:
 - Navegación.
 - Ocupación de muelles, de explanadas y de dársenas.
 - Accesos al puerto.
 - Construcción de obras auxiliares.
 - Balizamientos provisionales.
 - Dragado.
- Dentro del ámbito de la Administración Autonómica en lo relativo a:
 - Patrimonio artístico y arqueológico.
 - Requisitos medioambientales establecidos por la DIA
- Dentro de las distintas Administraciones Centrales en lo concerniente a:
 - Transportes especiales.
 - Explosivos.
 - Extracción de arenas del mar.
 - Dragados y vertidos.
 - Despacho de buques y rol de tripulaciones.

En ocasiones, las autorizaciones requieren la elaboración y aprobación de proyectos, por lo que su tramitación debe ser tenida en cuenta al elaborar el Cronograma.

4.10 EXPLANADAS PARA INSTALACIONES Y ACOPIOS

Las instalaciones necesarias para la ejecución de una obra marítima pueden ser de gran importancia y requerir:

- Grandes superficies de terreno.
- Suministro eléctrico.

- Suministro de agua.
- Muelles auxiliares.
- Accesos para maquinaria pesada, desde el exterior hacia las obras.
- Superficie de espejo de agua para fondeos provisionales.
- Áreas que soporten grandes cargas.
- En casos excepcionales, puede ser necesaria la construcción de un puerto auxiliar.

A su vez, algunas de las actividades que en ellas se realizan son molestas para las personas o influyen negativamente en el entorno, lo que exige su ubicación en el lugar donde se minimice su impacto.

Con frecuencia, los terrenos donde se ubican las instalaciones o se acopian los materiales pasan posteriormente a formar parte de las obras, por lo que su liberación y restitución deberá estar planificada.

Lo habitual es que tanto las instalaciones como las explanadas donde se ubican se incorporen en la oferta del contratista.

4.11 ACCESOS DE TRÁFICO

Las obras marítimas pueden requerir la aportación de grandes cantidades de materiales, generando un tráfico de camiones que no es de extrañar que alcance la cifra de mil viajes diarios. En vista de ello es, por tanto, necesario:

- Evaluar las intensidades de tráfico que se van a generar.
- Estudiar la capacidad que tiene la red viaria existente para soportar estos incrementos de tráfico. En la figura 4.11 se puede apreciar esta problemática en el acceso a una obra.
- Comprobar que no existen restricciones a la circulación que puedan afectar a los medios que se prevean utilizar para el transporte.
- Planificar el tipo, la frecuencia y la duración de los transportes especiales.

En ocasiones se deberá recurrir a:

- La construcción de nuevos accesos viarios.
- La ampliación de accesos existentes.
- La construcción y señalización de desvíos.
- La utilización de muelles auxiliares alternativos.

Asimismo, deberá estar previsto el mantenimiento de los viales que dan acceso a las distintas zonas de la obra y su acondicionamiento final una vez terminada la misma.



Figura 4.11 Tráfico de obra

4.12 INTERFERENCIAS CON LA POBLACIÓN

Cuando las zonas de trabajo o de tránsito de las máquinas estén próximas a lugares habitados (figura 4.12), se diseñarán los procesos constructivos de forma que no produzcan molestias a las personas, en particular, por las siguientes causas:

- La producción de polvo, puede hacer necesario instalar filtros o riegos con agua.
- Los ruidos pueden obligar, en ocasiones a instalar pantallas antirruído e, incluso, limitar el horario de trabajo.
- La producción de olores puede condicionar la ubicación de los vertederos.
- La movilidad de las personas y los vehículos puede verse restringida o dificultada, en cuyo caso puede ser necesario adecuar las vías de tránsito y/o proyectar, aprobar y construir vías alternativas.
- Las vibraciones producidas por voladuras, hinca de pilotes u otros trabajos que pueden afectar a las estructuras próximas.

Resolver adecuadamente las interferencias con la población evita enfrentamientos que puede afectar gravemente al desarrollo de los trabajos.



Figura 4.12 Interferencia con la población

Análisis del plan de ejecución

5.1 INTRODUCCIÓN

El PLAN DE EJECUCIÓN, contendrá toda la información necesaria para ejecutar la obra de forma adecuada y en el plazo requerido.

El PLAN DE EJECUCIÓN consta de los siguientes documentos:

- Memoria constructiva.
- Asignación de medios.
- Programa de trabajos.
- Procedimientos de ejecución.
- Sistemas de seguimiento y control.

La normativa vigente obliga a que se redacten separadamente del Plan de Ejecución los siguientes documentos que, en cualquier caso, se tendrán en cuenta para su elaboración:

- Plan de Seguridad y Salud.
- Plan de Vigilancia Ambiental.
- Planes de Protección de los Patrimonios Artísticos y Arqueológicos.

El Plan de Ejecución forma parte de la oferta del Contratista y, en algunas ocasiones, puede ser necesario complementarlo con la obra ya iniciada. En estos casos se elaborará un Cronograma en el que se fijarán las fechas de finalización de cada una de las partes y del plan completo.

5.2 MEMORIA CONSTRUCTIVA

La memoria constructiva debe explicar cómo se van a ejecutar las obras y debe constar de los siguientes apartados:

- Descripción de los procesos constructivos (figura 5.2).
- Conclusiones obtenidas del análisis del Proyecto y la relación de las medidas adoptadas en función del mismo.

- Los principales condicionantes del proceso constructivo y las actuaciones que conllevan. Se prestará especial atención al estudio de la estabilidad estructural de las fases constructivas, así como el riesgo admisible de las mismas.
- Permisos y licencias necesarios para la ejecución de la obra.
- Mediciones más representativas de la obra.
- Descripción de la forma de ejecutar los trabajos más significativos.
- Personal adscrito a las obras.
- Identificación y disponibilidad de la maquinaria más representativa.
- Relación de los principales materiales, con indicación de sus procedencias y de las cuantías, con el correspondiente Cronograma de suministros.
- Esquema del Cronograma de actividades.

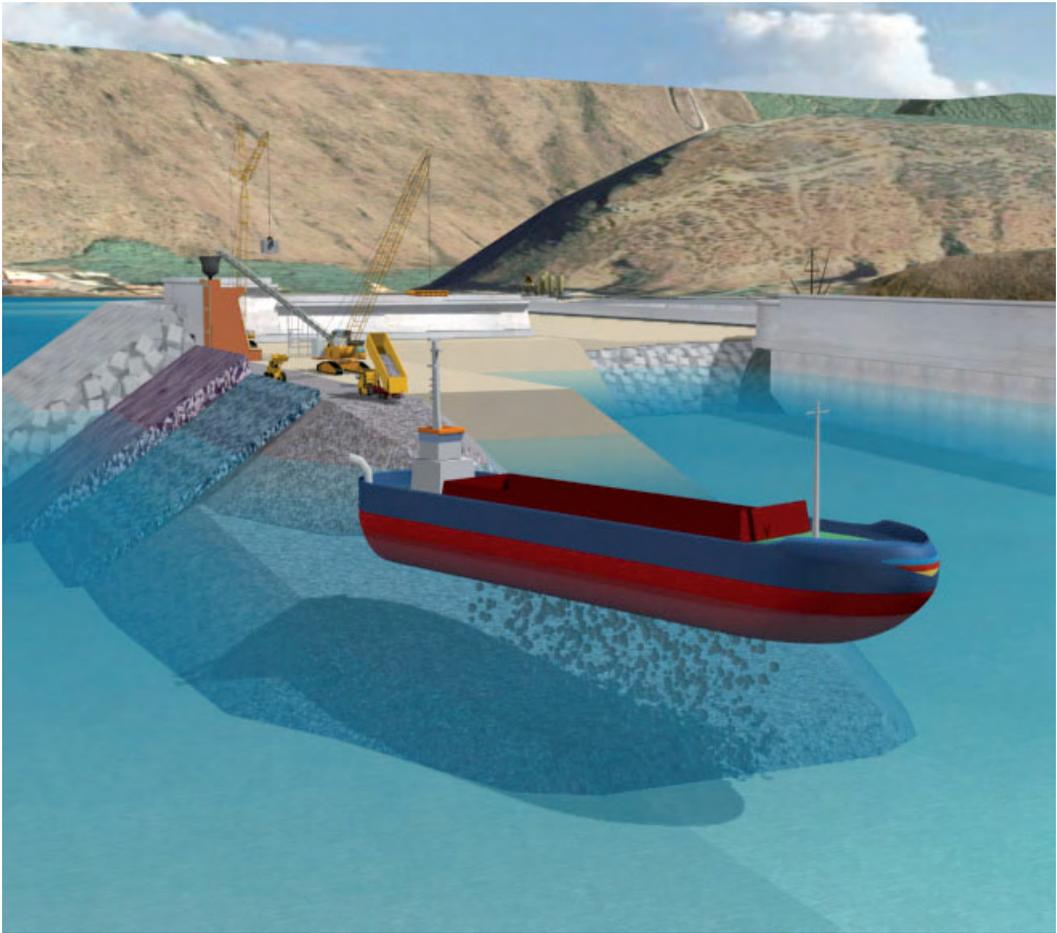


Figura 5.2 Proceso constructivo

5.3 ACTIVIDADES A CONSIDERAR

El PLAN DE EJECUCIÓN debe considerar todas las actividades que afectan o forman parte de la obra. A continuación se expone una relación, que no pretende ser exhaustiva, de las actividades que se pueden presentar en una obra marítima:

• OBLIGACIONES CONTRACTUALES, LICENCIAS Y PERMISOS

Contractuales:

- Firma del Contrato.
- Redacción y aprobación de los Planes de Seguridad y Salud, Calidad y Medioambiental. Aviso previo a la Autoridad laboral.
- Comprobación del Acta de Replanteo y orden de inicio de las obras, que fija la fecha del inicio del plazo de ejecución de las mismas a efectos contractuales.

Licencias:

- Obtención de licencias, teniendo en cuenta que determinadas obras pueden requerir la redacción de proyectos y la elaboración de estudios de impacto ambiental que, si son sometidos a información pública, necesitan para su tramitación dilatados plazos. La obtención de las licencias de explotación de canteras, de extracción de material de los yacimientos marinos y para el vertido de materiales procedentes de dragado tanto en los fondos marinos como en recintos terrestres suelen entrañar una especial dificultad.
- Disponibilidad de los terrenos donde se ubican las obras en situación, extensión y fecha.

Permisos:

- Permisos para la apertura de canteras, transportes especiales, transporte de explosivos, instalación de parques de fabricación, etc. cuando sean necesarios.
- Actuaciones medioambientales requeridas.
- Posibles actuaciones relacionadas con el Patrimonio Artístico o Arqueológico.

El Plan de Seguridad y Salud tiene que estar aprobado antes de la apertura del centro de trabajo por lo que condiciona de forma absoluta la ejecución de la obra. Además, si se modifica alguno de los procesos constructivos previstos en el Proyecto de la obra es necesario proceder a la adaptación de los diferentes planes, redactándolos de nuevo y sometiéndolos a aprobación.

• INSTALACIONES

- Disponibilidad de terrenos.
- Superficies necesarias para el montaje de instalaciones, acopio de materiales, adecuación de viales y otras demandas de superficie que no estén incluidas entre las que la PROPIEDAD facilita al CONSTRUCTOR.

- Instalaciones de agua, energía, saneamiento y comunicaciones.
- Instalaciones de oficinas, talleres, almacenes, vestuarios, comedores, etc.
- Apertura de préstamos y canteras.
- Preparación de zonas destinadas a vertederos.
- Construcción de muelles auxiliares, cargaderos (figura 5.3 A), obras de abrigo provisionales y puerto auxiliar.
- Construcción de encofrados de bloques, hormigón sumergido, viga cantil, espaldón, etc.
- Taller de elaboración de armaduras.
- Instalaciones específicas como plantas de fabricación de áridos, aglomerado asfáltico, hormigón, fabricación de cajones flotantes, etc.
- Adquisición de cámara de descompresión.
- Adquisición de equipos de medición y control.

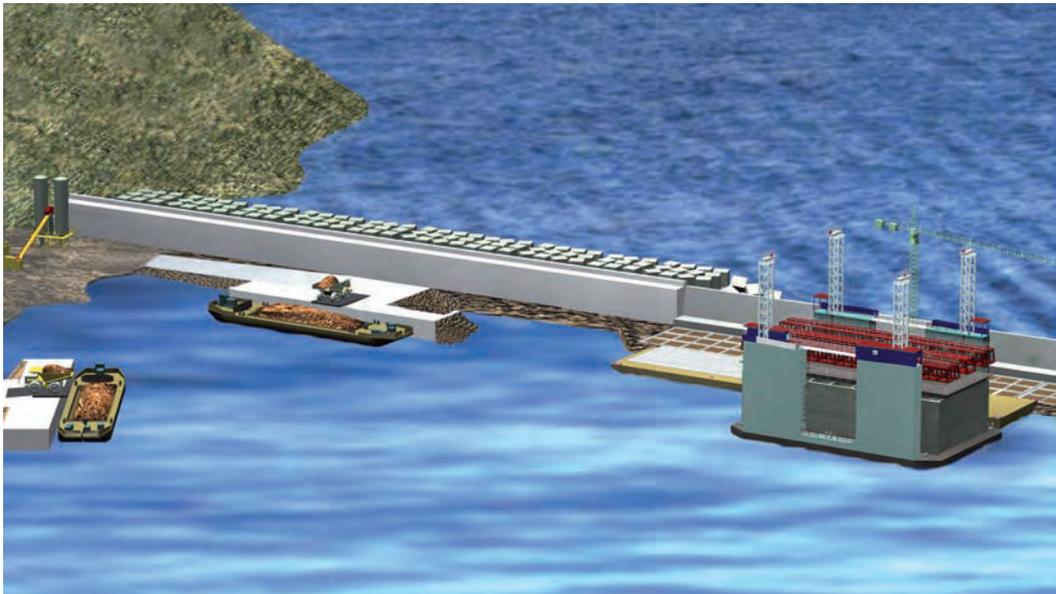


Figura 5.3 A Instalaciones de cargaderos y dique flotante

• MOVILIZACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPOS

Cuando la movilización, el transporte y el montaje de los equipos tienen especial incidencia en el proceso constructivo se considerarán como una actividad, lo que ocurre con frecuencia en los siguientes casos:

- Equipos de dragado. A veces es necesario modificar alguno de los elementos de las dragas para adaptarlos al trabajo que van a realizar, por ejemplo, puede ser necesario variar la longitud de la escala o tubos de las dragas de succión, sustituir los cangilones en las dragas de rosario, transportar e instalar la tubería en las dragas de cortador, etc.

- Gánguiles para transporte y vertido de materiales.
- Grúas flotantes y cabrias.
- Cajoneros. Además de la movilización (figura 5.3 B) y del montaje del cajonero, se debe tener en cuenta la implantación de las instalaciones auxiliares.
- Equipos para enrasar.
- Grúas terrestres. En ocasiones son de gran porte y requieren elementos específicos de izado que tienen que ser diseñados y construidos al efecto.



Figura 5.3 B Remolque dique flotante

• CONTRATACIONES

La contratación de equipos o subcontratación de tareas requiere, para efectuarse correctamente, la recopilación de datos y la realización de estudios de mercado. Consecuentemente, la asignación de medios y el plazo temporal deben estar contemplados en el PLAN DE EJECUCIÓN cuando su importancia así lo requiera.

• ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN

Son las actividades que ejecutan de forma directa las unidades de obra. A efectos de planificación deben considerarse como actividades de construcción las ejecutadas por

unidades de producción, las cuales pueden corresponder o no con unidades de cobro, y viceversa.

En capítulos posteriores de esta GUÍA se describen las unidades de producción más representativas de las obras marítimas.

• ACTIVIDADES DE ESPERA

Los desfases temporales requeridos en algunas unidades de obra se planifican como actividades de espera, como por ejemplo en las actividades de:

- Consolidación de rellenos.
- Adquisición de resistencia de los hormigones.

5.4 DISEÑO DE INSTALACIONES

El montaje de las instalaciones puede llegar a presentar tanta dificultad como la obra por sí misma y, de forma particular, en aquellas obras de mucha envergadura como es el caso de:

- Plantas de machaqueo de áridos (figura 5.4 A).
- Plantas de fabricación de hormigón (figura 5.4 B).
- Parques de fabricación de bloques y otros prefabricados de hormigón.
- Grandes encofrados.
- Instalaciones para la fabricación de cajones.

Estas instalaciones se deben proyectar y planificar dado que habitualmente no están contempladas en el Proyecto. Con frecuencia el montaje de las instalaciones forma parte del camino crítico del programa de trabajo.

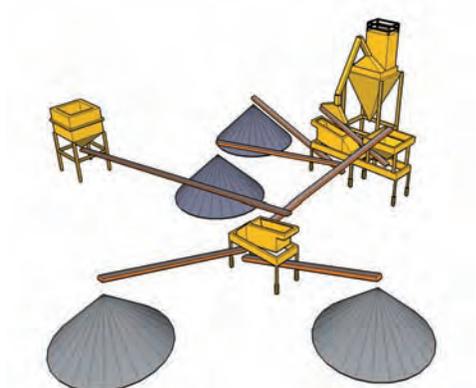


Figura 5.4 A Planta de machaqueo de áridos



Figura 5.4 B Planta de fabricación de hormigón

5.5 CANTIDADES DE OBRA

A cada una de las actividades consideradas se le asignará la cantidad de obra a realizar, es decir, la medición de la unidad de producción.

Se debe tener en cuenta que las cantidades de obra que se ejecutan pueden ser distintas de las que figuran en las mediciones del Proyecto, dependiendo fundamentalmente de la forma que se ha definido el precio de la unidad. A título de ejemplo, se puede citar el caso de los rellenos de explanadas. Estos rellenos, sobre todo si son de tipo hidráulico, pueden sufrir asientos importantes, con lo que será necesario complementar el volumen teórico. El abono de metro cúbico de relleno puede incluir o no este incremento de volumen.

Tener en cuenta estas diferencias y su control durante la ejecución evita desajustes posteriores entre las cantidades aportadas y empleadas de estos materiales.

5.6 ASIGNACIÓN DE RECURSOS

A cada una de las actividades se le asigna la cantidad de recursos que permite realizar los trabajos encomendados.

Es conveniente que la asignación se haga agrupando los recursos en las siguientes naturalezas:

- Mano de obra.
- Maquinaria.
- Materiales.
- Instalaciones.
- Subcontratos.
- Varios.

Una vez dimensionados los equipos de producción por los recursos asignados se estimarán, para cada actividad, los rendimientos y se tendrán en consideración los condicionantes que pudiera haber; además, se determinará la duración de las actividades una vez conocidas las cantidades de obra a ejecutar por cada uno de los equipos.

5.7 RELACIONES ENTRE ACTIVIDADES

Se establecen las relaciones de dependencia entre las actividades. Cada actividad puede tener con cada una de las restantes uno, varios o ninguno de los siguientes vínculos:

- NINGUNO, en cuyo caso no se reseñan.
- DE COMIENZO A COMIENZO, el comienzo de la actividad no se puede acometer hasta pasados “N” días desde el comienzo de la actividad con la que se está relacionando.
- DE COMIENZO A FINAL, el comienzo de la actividad no se puede acometer hasta pasados “N” días desde el final de la actividad con la que se está relacionando.
- DE FINAL A FINAL, el final de la actividad no puede tener lugar hasta pasados “N” días desde el final de la actividad con la que se está relacionando.
- Puede estar condicionado el INICIO de una actividad por una fecha concreta.

5.8 PROGRAMA DE TRABAJOS

El PROGRAMA DE TRABAJOS se elabora a partir del conocimiento de las actividades, de cómo están condicionadas, de los recursos asignados y de la duración de las mismas.

La elección de un soporte informático adecuado permite una gran flexibilidad en la presentación -diagrama de Gantt, red de precedencias, Pert- y la obtención de información complementaria -camino crítico, holguras, histogramas de recursos, diagramas de flujos, etc.-.

Es conveniente que el soporte elegido facilite las actualizaciones y las correcciones del PROGRAMA DE TRABAJOS y el seguimiento de las actividades críticas.

5.9 PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

Los procedimientos de ejecución de cada una de las actividades de producción, se elaboran en un documento -habitualmente en forma de ficha- en el que se recogen:

- Las características de los materiales a emplear y las normas de recepción.
- Las características de la maquinaria.
- La forma de ejecución.
- Los controles y las comprobaciones durante la ejecución.
- Las unidades de medida, los criterios y los procedimientos de medición.
- El establecimiento de las medidas de los Planes de Seguridad y Salud, Calidad y Vigilancia Medioambiental.

Esta GUÍA presenta a continuación una serie de consideraciones sobre los procesos constructivos habituales de las unidades más significativas, que pueden servir de base para redactar los correspondientes PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN, adaptados a las obras marítimas.

Dragados, rellenos, escolleras y prefabricados

6.1 DRAGADOS

6.1.1 Definición

El dragado es la operación de extracción de terrenos de los fondos marinos por diversas causas o finalidades. Su objetivo obedece a diversas razones:

- Conseguir calados. Las profundidades obtenidas deben ser, al menos, las previstas en el Proyecto y los taludes de los dragados serán estables a largo plazo.
- Obtener materiales para rellenos. La naturaleza del material a extraer debe satisfacer las especificaciones exigidas por el Pliego.
- Sanear terrenos inadecuados. Se efectúa para eliminar suelos que tengan poca capacidad portante o sean muy deformables. En estos dragados se alcanzarán los terrenos con la capacidad portante prevista en el Proyecto con independencia de la profundidad a la que se encuentren.
- Eliminar materiales contaminantes o contaminados. Está reglamentado que su vertido se realice en recintos construidos al efecto.

El estudio y la planificación del dragado deben realizarse con prontitud y rigor debido a la importancia económica, la envergadura de los medios necesarios, los plazos y la influencia sobre el resto de las unidades de obra.

6.1.2 Condicionantes

La adecuada elección de los equipos y de los procedimientos de dragado viene determinada por los siguientes aspectos:

- Emplazamiento:
 - Las condiciones de abrigo.
 - La proximidad a las estructuras que puedan entorpecer la operatividad de los equipos.
 - La necesidad de mantener el tráfico marítimo.

- Características del terreno:

Los terrenos se clasifican a efectos de dragado en:

- Terrenos sueltos
- Arcillas
- Rocas blandas
- Rocas duras

- Homogeneidad del terreno:

Los estratos de materiales que presentan distinta dureza y espesor, así como la existencia de grandes bolos o lajas cementadas en el seno de terrenos granulares, son determinantes de la elección de los equipos de dragado y de los rendimientos que se consiguen.

- Calados:

Los terrenos que hay que dragar se pueden encontrar a distintas profundidades:

- Emergidos permanentemente o durante la bajamar.
- A profundidades pequeñas (hasta 5 m).
- A profundidades medias (entre 5 y 25 m).
- A profundidades grandes (mayores de 25 m).

Las profundidades a las que se draga deben estar referidas a un plano de comparación concreto, definido inequívocamente. Además, es necesario disponer de un sistema que permita conocer permanentemente la altura de la marea.

- Geometría de la zona a dragar:

Las características geométricas de las áreas a dragar condicionan el recorrido y las maniobras de las dragas influyendo en su rendimiento.

- Los dragados en las zonas próximas a muelles, diques, pantalanos o estructuras de cualquier tipo requieren equipos con especiales características. En estos casos, los dragados durante su ejecución se atenderán estrictamente a la geometría -planta y perfil de los taludes- para evitar el descalce de las estructuras.

- Plazo y volumen:

El volumen de dragado y el plazo disponible determinan el rendimiento medio de los equipos.

- Distancia de vertido:

Las distancias a las que se tengan que realizar los vertidos condicionan los equipos de transporte.

- Procedimiento de vertido: mediante gánguiles, directo desde la cántara, por cañón, por tubería.
- Característica de los lugares de vertido:
 - La profundidad a la que hay que depositar los materiales condicionan los calados máximos de las embarcaciones.
 - Pueden existir restricciones estacionales y horarias a la realización de los vertidos.
- Clima marítimo:

La altura de ola limita la operación de las dragas, de forma que:

- Las dragas estacionarias pueden trabajar con $H_s \leq 1$ m y se deben refugiar en puerto cuando $H_s \geq 2$ m.
 - Las tuberías flotantes tienen que ser retiradas cuando $H_s \geq 2$ m.
 - Las dragas de succión en marcha son operativas con $H_s \leq 2,5$ m.
 - La velocidad de la corriente influye en la operatividad de las dragas a partir de 1 m/s y su acción debe ser tenida en cuenta cuando se instalen tuberías flotantes. Hay que considerar, asimismo, que las corrientes provocan la dispersión de los sólidos en suspensión.
- Tráfico marítimo:
 - Es necesario conciliar el tráfico marítimo con las operaciones de dragado, esto es, con las evoluciones de las dragas, recorridos a las zonas de vertido de materiales, anclas, cabrestantes, tuberías, etc.
 - Se debe planificar con suficiente antelación el balizamiento de la zona influenciada por el dragado.
 - La estela de los barcos puede dificultar el trabajo de las dragas estáticas.

- Medioambiente:

La flora (figura 6.1.2 A) y la fauna (figura 6.1.2 B) existentes en las proximidades de la zona a dragar y en el recorrido del transporte puede condicionar las operaciones de dragado, limitando el rebose, exigiendo la colocación de barreras que impidan el paso de los sólidos, obligando a implementar medidas que eviten derrames durante el transporte e, incluso, suspendiendo los trabajos de dragado cuando las condiciones de clima marítimo puedan arrastrar sólidos hacia las zonas medioambientalmente sensibles.



Figura 6.1.2 A Flora



Figura 6.1.2 B Fauna

- **Arqueológicos:**

La posibilidad de que existan restos arqueológicos en las zonas a dragar demanda actuaciones previas al inicio de los trabajos con el fin de detectar, extraer o preservar los posibles restos arqueológicos.

El análisis de la documentación histórica realizada por especialistas ayuda a centrar la búsqueda de restos arqueológicos en determinadas zonas y a descartar otras.

Los pecios de gran tamaño se pueden detectar con la realización de batimetrías (figura 6.1.2 C) y geofísicas, y los materiales metálicos con detectores de metal.

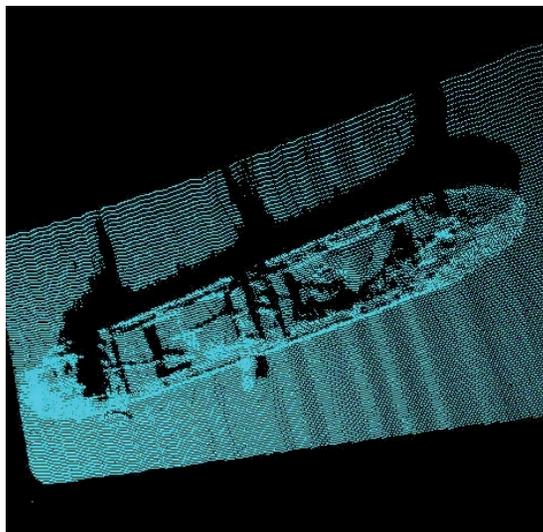


Figura 6.1.2 C Imagen de un pecio obtenida con sonda multihaz

Una vez iniciado el dragado, la recuperación de los restos arqueológicos se puede realizar en el recinto de vertido, siempre que en él quede emergido el material, o bien en las cántaras de los gánguiles o de las dragas. Puede darse la necesidad de detener el dragado hasta la recuperación de los restos.

- Disponibilidad de equipos:

Las dragas tienen un alto índice de ocupación por lo que su incorporación a las obras se debe gestionar con suficiente antelación.

6.1.3 Elección de equipos

A continuación se resumen las características y las limitaciones que presentan los distintos tipos de dragas al objeto de poder elegir la draga idónea en función de los condicionantes del dragado.

- **DRAGAS DE CUCHARA**

Consisten, básicamente, en una pontona sobre la que se instala una grúa con gran capacidad de elevación (figura 6.1.3 A). La grúa acciona una cuchara (figuras 6.1.3 B,C,D y E) que se llena con el material dragado y éste se deposita sobre un gánguil.



Figura 6.1.3 A Draga de cuchara



Figura 6.1.3 B Cuchara bivalva



Figura 6.1.3 C Cuchara de pinzas



Figura 6.1.3 D Cuchara hermética



Figura 6.1.3 E Cuchara para arenas y fangos

Solo pueden trabajar con Hs < 1 m y 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.

Existen dragas de cuchara instaladas sobre una embarcación tipo gánguil autopropulsado con zona habilitada -cántara- para depositar el material dragado (figura 6.1.3 F). Éstos son equipos muy versátiles y pueden colocar los materiales que transportan en la cántara en el fondo marino, en banquetas, utilizarse para enrase, etc. Dragando tienen un rendimiento inferior a 1.500 m³/día.



Figura 6.1.3 F Gánguil grúa

• DRAGAS DE PALA

Están constituidas por una pala de empuje frontal o retroexcavadora instalada sobre una pontona (figuras 6.1.3 G y H). Esta última dispone de un sistema de *spuds* situados uno a la banda de babor, otro en la banda de estribor a la altura del tercio delantero de la pontona y un tercero centrado en la popa. Los *spuds* combinados con un conjunto de cabrestantes sujetos a anclas (normalmente entre 4 y 6) permiten:

- Movimientos de la pontona mediante pasos alternativos de los *spuds* y movimientos de los cabrestantes.
- Cargar parte del peso de la pontona sobre el terreno a través de los *spuds*, lo que ofrece una reacción a la acción de la pala que no se tendría en el caso de estar la pontona a flote.
- Reducir las escoras de la pontona ante la acción del oleaje y del movimiento de las cargas, facilitando los giros de las máquinas que se hacen sobre un mecanismo a modo de corona que no admite grandes inclinaciones.

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.

Las características operativas de este tipo de dragas son:

- La profundidad de dragado está limitada: las dragas de mayor porte alcanzan 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.
- Los rendimientos oscilan entre 2.000 y 6.000 m³/día, estando muy condicionados por la naturaleza del terreno.
- Hay pocas unidades en el mercado.



Figura 6.1.3 G Dragadora retroexcavadora



Figura 6.1.3 H Dragadora retroexcavadora

• DRAGAS DE ROSARIO

Extraen el material del fondo con un rosario o cadena de cangilones (figura 6.1.3 I), siendo sus principales características:

- No son autopropulsadas. Los movimientos necesarios para dragar se hacen con cabrestantes sujetos a anclas.
- Vierten el material sobre gánguil.
- Alcanzan profundidades de dragado entre 20 y 30 m.
- Pueden trabajar con $H_s \leq 1$ m.
- Son versátiles en cuanto a la naturaleza del material a dragar. La posibilidad de utilizar distintos tipos de cangilones les permite dragar desde fangos hasta rocas blandas o rocas duras previamente fragmentadas.
- Los rendimientos son muy variables en función del material a extraer: varían entre 2.500 m³/día para roca blanda y 10.000 m³/día para terreno suelto.
- Dragán con mucha precisión geométrica.
- Son aptas para enrasar banquetas, operación en la que consiguen altos rendimientos -hasta 1.500 m²/día-.



Figura 6.1.3 I Draga de rosario

• DRAGAS DE SUCCIÓN ESTACIONARIA

Realizan el dragado a través de una tubería instalada sobre una estructura rígida (escala). La eficacia de las dragas se aumenta con la instalación de un cortador (*CUTTER*) en el extremo de la tubería de succión (figuras 6.1.3 J y K). El peso de la tubería de succión y de la escala presiona el cortador contra el terreno, lo que unido al giro del cortador accionado por un motor, disgrega el material, que es succionado por la tubería. Este conjunto de elementos

montados sobre una pontona dotada de *spuds* y cabrestantes, puente de mando, zonas de almacén, taller, comedor y otras dependencias es lo que constituye la draga.

El material que se draga es reimpulsado y dirigido a través de tubería al lugar de vertido; excepcionalmente, se puede verter a gánguil mediante difusores.

En el mercado hay gran número de dragas de cortador de tamaños y potencias muy distintas. Desde las más pequeñas, adecuadas para dragar en las presas y en los ríos, que son desmontables y se pueden transportar en camiones, hasta las de gran porte (figuras 6.1.3 L y M), que con una potencia que puede alcanzar 28.000 Kw son capaces de dragar rocas de 50 MPa de resistencia a compresión simple e impulsar el material a través de tubería a una distancia de 25 Km.

Sus principales características son:

- Profundidades de dragado hasta 30 m.
- Tienen un calado en torno a 3 m y son capaces de dragar terrenos emergidos abriendo canal.
- Son muy adecuadas para dragar en dársena y rellenar recintos.
- Las tuberías de impulsión pueden ir sumergidas, esto es, apoyadas en el fondo, por lo que no interfieren con la navegación.
- Son muy versátiles en cuanto al tipo de materiales a dragar: materiales sueltos, arcillas y rocas blandas.
- El gran número y variedad de dragas de succión que existen en el mercado hace que sus rendimientos oscilen entre 500 y 100.000 m³/día.



Figura 6.1.3 J Cortador de arcilla dura



Figura 6.1.3 K Cortador de roca



Figura 6.1.3 L Dragas de cortador



Figura 6.1.3 M Dragas de cortador

• DRAGAS DE SUCCIÓN EN MARCHA

Realizan el dragado a través de una tubería de succión instalada sobre una embarcación, que dispone de una cántara para contener los materiales dragados (figura 6.1.3 N). Sus principales características son:

- Calado mínimo en torno a 5 m, pudiendo alcanzar en determinados casos los 12 m.
- Profundidad de dragado hasta 100 m en las grandes dragas.
- Dragan navegando a una velocidad próxima a 2 nudos (1 m/s) y durante el transporte alcanzan velocidades de 12 nudos (6 m/s).
- El tiempo de llenado de la cántara es aproximadamente de una hora, aumentando cuando la forma de la zona a dragar obliga a realizar frecuentes cambios de sentido y/o dirección.

- La capacidad de la cántara varía entre 1.500 m³ para las dragas pequeñas y 38.000 m³ para las grandes.
- El vertido se puede hacer:
 - Abriendo el fondo de la cántara.
 - Impulsando el material a través de una tubería, instalada en una boya, a la que se conecta la draga.
 - Proyectando el material a través de un cañón (figura 6.1.3 O).

El tiempo necesario para verter a través de tubería y del cañón es aproximadamente de una hora. Sin embargo, el que se requiere para verter por apertura de fondo es de escasos minutos.

Son dragas muy eficaces en el caso de materiales sueltos. Hay equipos modernos que llevan incorporado un sistema que inyecta agua a alta presión desde el cabezal de dragado, permitiendo disgregar y succionar rocas blandas:

- Con las dragas de gran porte se alcanzan rendimientos de 100.000 m³ /día en el caso de arenas.
- Los equipos modernos van equipados con sistemas que optimizan los rendimientos.
- Disponen de avanzados sistemas de posicionamiento y navegación.



Figura 6.1.3 N *Draga de succión en marcha*



Figura 6.1.3 O Vertido con cañón

En la tabla 6.1.3.1 se relaciona los distintos tipos de draga con la naturaleza de los terrenos que pueden dragar.

NATURALEZA DEL TERRENO	TIPO DE DRAGA					
	CUCHARA	PALA	ROSARIO	SUCCIÓN ESTACIONARIA	SUCCIÓN ESTACIONARIA CUTTER	SUCCIÓN EN MARCHA
Arena compacta		X	X		X	X
Arena suelta			X	X	X	X
Arena fangosa	X		X	X		X
Fangos	X		X	X		X
Arcilla suelta	X		X		X	
Arcilla plástica	X	X	X		X	
Arcilla compacta		X	X		X	
Arena con grava	X	X	X		X	X
Rocas sin voladura		X	X		X	
Rocas (previa voladura)	X	X	X			

Tabla 6.1.3.1 Naturaleza del terreno / Tipo de draga

En las tablas 6.1.3.2 y 6.1.3.3 se resumen las ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de dragas.

DRAGAS MECÁNICAS		
	VENTAJAS	INCONVENIENTES
DRAGAS DE CUCHARA	Requieren poco calado	Hs < 1 m
	Pueden trabajar en zonas muy localizadas	Rendimiento bajo
	Pueden trabajar en las proximidades de estructuras	Alto coste
	Gran precisión	No dragan terrenos heterogéneos
	Pueden dragar en terrenos emergidos abriendo canal	
	Flexibles en cuanto a la profundidad de dragado	
	Facilidad para instalar barreras anticontaminantes	
DRAGAS DE PALA	Requieren poco calado	Hs < 1 m
	Pueden trabajar en zonas muy localizadas	Alto coste
	Pueden trabajar en las proximidades de estructuras	Pocas unidades
	Pueden dragar en terrenos emergidos abriendo canal	
	Versátiles en cuanto al tipo de terreno	
	Muy aptas para dragados en zanja	
	Facilidad para instalar barreras anticontaminantes	
DRAGAS DE ROSARIO	Alta precisión	Hs ≤ 1 m
	Versátiles en cuanto al tipo de terreno	Operación de montaje lenta (varios días)
	Aptas para dragados en zanja	Existen pocas unidades
	Enrasan banquetas	Requieren calado mínimo aproximado de 6 m
		Son muy ruidosas

Tabla 6.1.3.2 Dragas mecánicas. Ventajas e inconvenientes

	DRAGAS DE SUCCIÓN	
	VENTAJAS	INCONVENIENTES
DRAGAS ESTACIONARIAS SIN CORTADOR	Gran variedad de modelos	Hs < 1 m
	Buenos rendimientos	Muy limitadas en cuanto al tipo de terreno
	Bajo coste	Requieren instalar tubería
	Fácil movilización	
DRAGAS ESTACIONARIAS CON CORTADOR	Gran variedad de modelos	Hs < 1 m
	Alto rendimiento	Requieren instalar tubería
	Versátiles en cuanto al tipo de terreno	Retirar tubería Hs > 2 m
	Bajo coste	
	Adecuadas para verter en recinto	
DRAGAS DE SUCCIÓN EN MARCHA	Alto rendimiento	No aptas para dragados localizados
	No requieren instalación	Requieren amplias zonas para maniobrar
	Bajo coste	Calado mínimo en torno a 5 m
	Tren de dragado completo	No adecuadas para fangos
	Autopropulsadas	
	Equipos modernos	
	Buen control del dragado	
	Pueden trabajar con Hs < 2'50 m	

Tabla 6.1.3.3 Dragas de succión. Ventajas e inconvenientes

• VOLADURAS SUBMARINAS

Cuando las rocas tengan una dureza que no permita que las dragas las puedan extraer mecánicamente, o bien se encuentren en zonas no accesibles, o en volúmenes pequeños, o simplemente no se disponga de las dragas adecuadas, es necesario quebrantar la roca con voladuras submarinas para proceder a extraer los fragmentos a continuación.

La secuencia de las operaciones para efectuar una voladura submarina, habitualmente, es la siguiente:

Primero, se limpia la superficie dragando los materiales sueltos. Puede utilizarse el método O.D. (perforación entubada) que permite realizar la voladura sin dragado previo.

Segundo, se realiza la perforación de los taladros.

Tercero, se lleva a cabo la carga del explosivo.

Cuarto, se procede al explosionado.

Se recomienda volar la roca en mayor profundidad que la estrictamente necesaria porque los repasos son muy caros. La cuadrícula a utilizar se determinará en función del tamaño máximo de los fragmentos que se quieran obtener.

En voladuras de poco volumen, la perforación y la carga son realizadas por buzos. Mientras que en voladuras de medio o gran volumen se pueden emplear carros perforadores instalados sobre pontonas con *spuds*, que son apoyadas sobre el fondo, o sobre pontonas flotantes si se utilizan martillos con compensadores de las oscilaciones provocadas por el oleaje (figura 6.1.3 P).



Figura 6.1.3 P Pontona para perforación

La carga del explosivo se puede realizar manualmente con buzos o desde la propia pontona con medios mecánicos. El explosionado se acciona desde la pontona o desde otras embarcaciones.

Por cuestiones de seguridad se prestará especial atención a las emisiones radioeléctricas que pueden activar los detonadores y al control de acceso de embarcaciones a la zona de

voladura. Cumplir con los requisitos legales que atañen al transporte, al almacenamiento, a la manipulación y a la seguridad requiere planificar estas actividades con mucha antelación.

- Equipos auxiliares:

Los equipos auxiliares más utilizados en el dragado son:

- Gánguiles: embarcaciones que disponen de una cántara de carga, en la que la draga deposita el material para ser transportado al lugar adecuado de vertido. Los gánguiles pueden ser autopropulsados o no, y tener distintas formas de apertura para verter el material, siendo la más habitual la apertura por fondo (figura 6.1.3 Q).



Figura 6.1.3 Q Gánguil con apertura de fondo



Figura 6.1.3 R Embarcación auxiliar

- Embarcaciones multiuso (figura 6.1.3 R) que realizan diversas funciones, tales como:
 - Instalación de tubería flotante.
 - Fondeo de anclas y fijación a ellas de los cabrestantes.
 - Batimetrías.
 - Transporte del personal.
- Estaciones de bombeo (Boosters): se pueden instalar bombas adicionales cuando la potencia de la bomba de la draga no es suficiente para impulsar el material hasta el punto de vertido.
- Elevadores: se pueden utilizar equipos de elevación del material existentes en el mercado cuando la altura donde se deba colocar el material es superior a la del medio de transporte de llegada.

6.1.4 Control de la operación

Durante la realización de los dragados hay que controlar los siguientes aspectos:

- Geometría del dragado:
 - Se dispondrá de las bases de replanteo, debidamente comprobadas.
 - Se determinará la cota de referencia de forma inequívoca.
 - Se obtendrán datos batimétricos de las zonas dragadas y aquéllas que puedan ser afectadas por el dragado, de forma continuada, a partir de los equipos existentes en la draga o mediante equipos auxiliares.
 - Se comprobará que los taludes finales corresponden a los proyectados.
 - Se comprobará que se ha llegado al estrato previsto cuando la finalidad del dragado sea alcanzar terrenos competentes que permitan cimentar sobre ellos. Esta operación se realizará a través de toma de muestras, inspecciones visuales directas o con cámaras submarinas.
 - Se dragarán los aterramientos que se produzcan.
- Vertidos:

La forma de controlar los vertidos depende de que estos se realicen en el mar o en recintos:

- Cuando los vertidos se realicen en el mar se garantizará que se efectúan en las áreas previstas con los sistemas de posicionamiento de las embarcaciones. En caso de ser necesario se harán enclavamientos para que la cántara no se pueda abrir hasta que la embarcación esté situada en el lugar previsto.
- Se archivarán los registros de cada uno de los vertidos.
- Se medirán las velocidades y direcciones de las corrientes cuando, por efecto de éstas, los sólidos que se viertan puedan ser transportados a zonas no autorizadas.

- Se tendrán en consideración las recomendaciones realizadas en el apartado 6.2.2 *Re-llenos generales procedentes de dragado* cuando los vertidos se hagan en recintos.
- Se verificará el cumplimiento de la normativa vigente en materia de vertidos de materiales procedentes de dragado. En particular, se seguirán las “*Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles*” redactadas por el CEDEX y el Programa de Vigilancia aprobado con la Autorización de Vertido.

6.1.5 Recomendaciones generales

La alta ocupación y el elevado coste de los equipos de dragado demandan realizar una serie de trabajos preparatorios con antelación a su llegada a la obra. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- Obtención de permisos:
 - Capitanía Marítima: los correspondientes a navegación, seguridad marítima y balizamiento.
 - Dirección General de Costas: los que afectan al medio ambiente, a la extracción de arenas y a los vertidos.
 - Autoridad Portuaria: dragados en las áreas que son de su competencia, utilización de espejos de agua, ocupación de muelles y superficies y balizamiento.
 - Varios: de forma excepcional puede ser necesario disponer de permisos del Ministerio de Defensa cuando se trabaja en aguas de su competencia y/o cualquier otro Organismo que pueda estar afectado.
- Disponibilidad de muelles para el montaje de los equipos.
- Balizamiento: proyecto, publicación y aprobación.
- Restricciones al tráfico marítimo, exclusión de zonas y limitación de la velocidad de navegación que deben ser publicitadas con anterioridad a su entrada en vigor.
- Replanteo de las obras.
- Preparación de los recintos.

6.1.6 Criterios de medición

Los criterios de medición son los establecidos en el Proyecto, donde deben estar definidas las tolerancias y sobredragados con derecho a cobro. Los criterios de medición y la diferenciación entre materiales con distinto precio deben estar claramente establecidos antes de iniciar los trabajos.

Los dragados se deben controlar de manera continua para:

- Detectar aportaciones de material a las zonas dragadas por acarreos o derrumbes.
- Determinar las distancias de transporte de los materiales que, en algunos contratos, condicionan el precio de la unidad de dragado.
- Conocer los rendimientos reales de las dragas y actuar en consecuencia.
- Controlar los deslizamientos de los taludes.

6.2 RELLENOS GENERALES

Los rellenos generales son aquéllos constituidos por materiales de cualquier naturaleza que se colocan sobre el terreno natural, habitualmente en zonas inundadas o anegables.

Con frecuencia el volumen de relleno general que se requiere es de varios millones de metros cúbicos -se necesitan para transportarlos varios centenares de miles de viajes de camión o varios miles de viajes de gánguil-, lo que lleva en general a utilizar los materiales disponibles en las proximidades de las zonas de utilización.

Es frecuente que los fondos marinos donde se depositan los rellenos generales estén formados, en su parte superior, por materiales de muy poca consistencia, lodos, fangos, limos, etc., que no se extraen por razones económicas y/o ambientales.

Por su procedencia y/o características los rellenos generales se clasifican en:

- Rellenos de procedencia terrestre.
- Rellenos procedentes de dragado.
- Rellenos especiales.

6.2.1 Rellenos generales de procedencia terrestre

6.2.1.a Suministro y control de los materiales

Para la ELECCIÓN DE LOS PRÉSTAMOS se tendrá en consideración:

- **Situación**

Distancia 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.

- **Accesibilidad**

Se tendrá en cuenta la facilidad para acceder desde los préstamos a las vías existentes y la capacidad de éstas para absorber el incremento de tráfico que el transporte del material conlleva.

La existencia de caminos que permitan el paso de extravíaes -grandes dúmperes (figura 6.2.1.a)- puede ser determinante.



Figura 6.2.1.a Dúmpere

- **Características del material**

Cumplirá las especificaciones del Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto.

Para cada préstamo se debe estimar la cantidad de material no apto, así como prever el lugar donde se depositará.

- **Volumen**

En general, la explotación de los préstamos es tanto más rentable cuanto mayor es el volumen de material que se pueda extraer.

- **Coste**

Para determinar el coste del material hay que considerar:

- El canon por la extracción del material.
- El coste de la apertura del préstamo.

- El coste de la preparación o construcción y el mantenimiento de los accesos.
- La retirada del material no apto.
- El coste de las operaciones de arranque y carga del material.
- El coste de las labores de restitución de los terrenos.

A continuación se estudiará el TRANSPORTE, con especial atención a la capacidad de 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. En todo caso, la intensidad de tráfico se debe estudiar con rigor.

Se establecerá un CONTROL de las características del material así como de las cantidades aportadas y se preverá la utilización alternativa de los materiales rechazados. La ubicación de los puntos de control, que depende de la procedencia de los materiales y de la forma de puesta en obra, se fijará para minimizar la interferencia con los trabajos. Siempre que sea posible el control de los materiales se efectuará en origen.

6.2.1.b Colocación

La colocación de los materiales de los rellenos generales (figuras 6.2.1.b A y B) se debe hacer con la finalidad de:

- Evitar que se produzcan desplazamientos de los terrenos poco consistentes de los fondos marinos a lugares no deseados. Para ello, según los casos, se han obtenido buenos resultados con alguna de las siguientes prácticas:
 - Realizar los rellenos de forma que empujen los fangos hacia zonas previamente elegidas, donde pueden ser extraídos, tratados, consolidados o simplemente ignorados.
 - Hacer una primera fase del vertido con gánguiles, depositando una “alfombra” de relleno sobre los fangos y, posteriormente, completar los rellenos -se requieren cálculos de estabilidad de los rellenos en fase constructiva-.
 - Cuadricular la zona a rellenar con motas realizadas con el propio relleno y, posteriormente, cuando han quedado los fangos contenidos en cada una de las cuadrículas, completar los rellenos, limitando así los espesores de fangos. Esta práctica es aconsejable cuando se realizan precargas, ya que de esta forma se pueden ejecutar por fases.
- Asegurar que los rellenos generales no entran en contacto con el trasdós de las estructuras.

Se debe controlar con reconocimientos batimétricos que los rellenos generales no ocupan el lugar de los rellenos de trasdós y/o banquetas de escollera. Asegurar que no desplazan, en caso de existir, los fangos de los fondos marinos hacia los lugares citados. Se deben



Figura 6.2.1.b A Colocación de relleno



Figura 6.2.1.b B Relleno general

extremar las medidas para garantizar esta cuestión por las graves consecuencias que provoca su incumplimiento.

- Facilitar los futuros tratamientos de los terrenos.

La práctica de ciertos procedimientos de mejora de terrenos o la construcción de pilotajes, tablestacas y pantallas se puede ver dificultada por las características del material de relleno -cuando es heterogéneo o contiene grandes bolos-. En la elección del material para relleno y su forma de colocación se tendrán en consideración las futuras actuaciones.

- Permitir la evacuación de las aguas.

En fases constructivas, cuando aún no funcionan los sistemas de drenaje y de evacuación de las aguas, se estudiarán y construirán aliviaderos que permitan controlar la salida del agua. Se considerará la influencia de las mareas, las corrientes y el oleaje.

- Seguridad.

Junto con las normas de seguridad relativas al movimiento de máquinas y equipos recogidas en el PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD que debe cumplirse rigurosamente, en los rellenos generales se añadirán aquéllas que eviten dos riesgos específicos:

- El deslizamiento de los rellenos que puede producirse con más facilidad con marea baja y que habrá sido estudiado en el análisis de la estabilidad de las fases constructivas.
- El riesgo de caída de los camiones al agua durante la puesta en obra del material, que puede evitarse realizando la descarga del mismo a una distancia de 5 m del borde, para posteriormente empujarlo con una pala o tractor.

- Compactación adecuada.

Los rellenos colocados por encima del nivel freático se compactarán de acuerdo a las indicaciones del Pliego, en principio:

- Cuando cese el tráfico de los vehículos sobre la superficie a compactar.
- Cuando se alcance la estabilización de los asientos de los terrenos inferiores.
- Inmediatamente antes de la ejecución del pavimento.

6.2.1.c Control geométrico

Con los controles geométricos de la colocación de los rellenos se pretende:

- Controlar la situación de los rellenos en planta y en alzado.
- Controlar los asientos a lo largo del tiempo.
- Conocer la situación de los rellenos bajo el agua y sus posibles desplazamientos.
- Disponer de las mediciones.

Para ello se procederá de la siguiente forma:

- Se establecerán las bases de replanteo.
- Se comprobarán la topografía y la batimetría iniciales.
- Se harán controles topográficos y batimétricos periódicos.

- Se implantará una instrumentación que permita hacer el seguimiento de los asientos de los rellenos, tanto en las fases de ejecución como una vez terminados. Habitualmente esta instrumentación se limita a la colocación de hitos referidos topográficamente.
- Tratamiento y archivo de los datos.

La batimetría se obtiene mediante sonda preferentemente multihaz, aunque no debe excluirse alguna comprobación con escandallo.

6.2.2 Rellenos generales procedentes de dragado

6.2.2.a Elección y selección de los materiales

La utilización para rellenos en las Obras Marítimas de materiales procedentes de dragado (figura 6.2.2.a) viene determinada por alguna(s) de las siguientes consideraciones:

- La existencia de materiales en los fondos marinos aptos para el relleno y susceptibles de ser extraídos.
- Por estar previsto en el PROYECTO o en la DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.
- Por la necesidad de confinar los materiales procedentes de dragado que, por diversas razones, no pueden ser vertidos al mar. En ocasiones, las características de estos rellenos obligan a realizar tratamientos posteriores de mejora para aumentar su capacidad portante y/o acelerar la consolidación.
- La existencia de materiales procedentes de obras de dragado, que pueden utilizarse como rellenos, generalmente con un bajo coste adicional.
- La dificultad para suministrar materiales aptos para relleno de procedencia terrestre.



Figura 6.2.2.a Relleno procedente de dragado

En general, los siguientes materiales procedentes de dragado son válidos para relleno:

- Los obtenidos de dragado en roca.
- Las arenas limpias o las que tengan un contenido en finos menor del 15%. Durante el proceso de dragado se produce un cierto grado de lavado de finos, lo que mejora el comportamiento de los rellenos. Sin tratamiento de mejora, estos rellenos son aptos para soportar cargas ligeras o estructuras que admitan asientos diferenciales.
- Los rellenos hidráulicos realizados con arenas con un porcentaje de finos entre el 15% y el 35% suelen dar malos resultados. Para ser aceptables requieren la adopción de medidas que eliminen los finos y/o trabajos complementarios que mejoren los terrenos.
- Los rellenos ejecutados con material arenoso con un porcentaje de finos superior al 35%, quedan constituidos por un fango plástico que tiene un período de consolidación de años y escasa capacidad portante. La explanada no se podrá utilizar hasta que el relleno haya consolidado para lo que habitualmente se requieren costosos tratamientos de mejora.

Cuando es necesario seleccionar el material que se draga para utilizar solo una parte de él como relleno, se procederá de la siguiente forma:

- Se realizará un estudio previo del yacimiento caracterizando los materiales, en particular, su contenido en finos.
- Se utilizarán equipos de dragado que permitan seleccionar el material, tales como:
 - Dragas de succión que posibilitan el rebose u “*overflow*”, eliminando un alto porcentaje de finos y, además, permiten dragar pequeños espesores de terreno y seleccionar el material por estratos.
 - Dragas que vierten en gánguiles. Una vez que el material está cargado en el gánguil, y según cual sea su naturaleza, puede ser transportado y vertido en la zona de relleno caso de ser apto para ello, o bien ser transportado a un vertedero en caso contrario.

6.2.2.b Colocación

Los materiales procedentes de dragado pueden llegar a la zona de relleno de distintas formas:

- En la cántara de una draga de succión. Estas dragas pueden colocar el material por tres procedimientos:
 - Vertiendo por apertura del fondo de la cántara, para lo que hacen falta calados importantes en función de la draga empleada, en cualquier caso mayor de 5 m.
 - Impulsando con bombas a través de cañones hasta distancias de 100 m.
 - A través de tubería.

- Desde una draga de cortador a través de tubería sumergida o flotante (figuras 6.2.2.b A y B).
- Desde gánguiles que vierten por apertura del fondo.
- Por transporte terrestre, cuando los rellenos proceden de recintos intermedios que se habilitan para contener el material dragado, si no es posible simultanear el dragado y los rellenos.



Figura 6.2.2.b A Relleno con tubería



Figura 6.2.2.b B Relleno hidráulico

Los rellenos se colocan en recintos previamente construidos. Estos recintos, aún en el caso de ser provisionales, serán proyectados de forma que se asegure su estabilidad y se pueda regular la salida del agua por los aliviaderos.

En función del medio por el que llegan los rellenos se deberá observar los siguientes aspectos:

Para los **realizados con transporte terrestres** es válido lo establecido en el apartado 6.2.1 *Rellenos generales de procedencia terrestre*.

Para los **rellenos realizados desde la cántara de un gánguil o de una draga** por vertido de fondo se tendrá en cuenta:

- Que el recinto permita la entrada de los gánguiles o dragas que transportan el material. La entrada estará orientada para evitar la agitación dentro del mismo y cuando sea necesario se instalarán barreras anticontaminantes.
- El vertido de los gánguiles se iniciará en las zonas de mayor calado, extendiendo el material en tongadas uniformes.
- Se pueden alternar las zonas de vertido en función de la altura de la marea y, de esta forma, colocar los rellenos a mayor cota.
- Se controlará la posición de los gánguiles en cada vertido.
- Se evitará el vertido de los materiales en zonas no previstas en el Proyecto, como por ejemplo el trasdós de las estructuras y las banquetas, así como la invasión de estas zonas por terrenos desplazados por los rellenos.
- Se efectuarán controles batimétricos para conocer los calados a los efectos de navegación de los gánguiles o dragas y de los desplazamientos de los fondos, los asientos que se puedan producirse y efectuar las mediciones de los rellenos.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se elaborará un Plan de Vertido, que formará parte del Plan de Ejecución de la unidad de obra, y que contendrá la secuencia y posición de los vertidos a realizar.

Para los **rellenos a través de tubería** se observarán los aspectos detallados a continuación:

Cuando el relleno hidráulico llega al recinto a través de tubería se produce una disgregación del material, ya que los tamaños más gruesos se decantan en las proximidades de la boca de salida de la tubería y los más finos en las zonas con menor velocidad de la corriente. Por tanto, se asegurará que los materiales finos se depositan donde se haya previsto, pero

nunca en el trasdós de las estructuras ni en las banquetas de escollera ni en aquellas zonas donde se comprometa la estabilidad estructural.

El estudio de sedimentación, la forma y sectorización de los recintos, las distintas ubicaciones de los aliviaderos y el movimiento con medios terrestres de parte de los materiales son algunas actuaciones que pueden mejorar el estado final de los rellenos.

En recintos de pequeñas dimensiones o al final del llenado de los grandes, cuando el caudal que aporta la draga es importante, no se sedimenta la totalidad de los sólidos. Para evitar su salida al mar se puede actuar de las siguientes formas:

- Instalando barreras de geotextil que retengan los sólidos en los aliviaderos.
- Cambiando el emplazamiento del aliviadero y/o modificando el recorrido de las aguas con movimientos del material de relleno.
- Recreciendo la altura de los cierres de los recintos después de asegurar la estabilidad de las motas de contención de los rellenos.
- Para rellenos de gran volumen en recintos de gran superficie puede ser conveniente construir éstos sectorizados (figura 6.2.2.b C), esto posibilita:
 - Utilizar algunos de los sectores como balsa para la decantación de los finos, evitando su vertido al mar. La concentración en una zona de los finos facilita su posterior tratamiento.
 - Permite realizar la precarga por sectores.
 - Posibilita la puesta en servicio progresiva de los distintos sectores.



Figura 6.2.2.b C Recinto sectorizado

Teniendo en cuenta estas consideraciones se elaborará un Plan de Vertido que formará parte del Plan de Ejecución que incluirá:

- Estudio de sedimentaciones.
- Cálculo de estabilidad de las motas de cierre. En lugares con riesgo sísmico se debe prestar especial atención a la posibilidad de licuefacción del relleno y su consecuencia sobre la estabilidad de las motas.
- Barreras anticontaminantes.
- Estudio del esponjamiento del material y de los asientos previstos, determinando las cotas en fase constructiva.

6.2.2.c Control geométrico

Con los controles geométricos de la colocación de los rellenos se pretende:

- Controlar la situación de los rellenos en planta y en alzado.
- Conocer la evolución de los asientos a lo largo del tiempo.
- Realizar un seguimiento de la ubicación de los rellenos, tanto emergidos como sumergidos, y de sus posibles desplazamientos.

Para ello se procederá de la siguiente forma:

- Establecimiento de las bases de replanteo.
- Comprobación de la batimetría y la topografía iniciales.
- Controles batimétricos y topográficos periódicos.
- Implantación de hitos, testigos o instrumentación que permitan controlar los asientos en las distintas fases constructivas y una vez que los rellenos están terminados.
- Reconocimiento batimétrico de la zona de los yacimientos de los materiales.
- Proceso y archivo de los datos.

6.2.3 Rellenos especiales

6.2.3.a Introducción

Los rellenos se pueden conseguir utilizando materiales contaminados, subproductos de otros procesos o materiales reciclados, siempre que se tomen las medidas pertinentes. Confinar estos materiales en los recintos portuarios (figura 6.2.3.a) evita la utilización de vertederos.



Figura 6.2.3.a Relleno con material contaminado

6.2.3.b Rellenos con materiales contaminados o subproductos de otros procesos

Entre los materiales contaminados, que en algunos lugares existen en grandes cantidades, se pueden citar:

- Restos del lavado y estériles de minería. Suelen contener minerales pesados y tener una densidad muy superior a la de los rellenos habituales, también pueden ser adecuados para el relleno de celdas de cajones.

Cuando estos materiales se utilicen como rellenos:

- Se evitará la salida de los elementos contaminantes. Si es necesario se impermeabilizarán total o parcialmente los recintos.
- Se reconsiderarán los estudios de estabilidad y hundimiento sobre la base de las características de los materiales, que presentan en algunos casos altas densidades.

- Escorias y cenizas de altos hornos:

Son adecuadas para rellenos generales. En el caso de las cenizas se tendrá en cuenta su extremada finura y se colocarán unos filtros entre ellas y los elementos que las

contengan. No se utilizarán escorias expansivas. Es necesario consultar la normativa ambiental regional sobre estos materiales, que determina el carácter de inocuidad o indica los parámetros a tener en cuenta para su utilización en las proximidades del nivel freático.

Se evitarán ejecutar rellenos con cenizas en momentos de fuertes vientos y se sellará la superficie superior con materiales que el viento no desplace.

Se redactará un Plan de Ejecución de los rellenos, que recogerá las recomendaciones anteriores y formará parte de los procedimientos de ejecución.

La utilización de materiales contaminados, además de ser ambientalmente aconsejable, presta un servicio a la sociedad.

6.2.3.c *Rellenos con materiales reciclados*

Son aquéllos que se realizan con materiales que han tenido una utilización anterior o que proceden de otras obras, como son:

- Excedentes de materiales en excavaciones de obras -carreteras, estacionamientos, edificaciones, túneles, etc.-.
- Productos procedentes del desmontaje de tramos de carretera o ferrocarril abandonados.
- Restos de aglomerado y hormigón de estructuras desmanteladas, convenientemente tratados.

La gran variedad en las características de los materiales de estas procedencias obliga a:

- Comprobar que las características físicas y químicas de los materiales son compatibles con las hipótesis del Proyecto.
- Realizar un exhaustivo control de recepción.
- Hacer acopios intermedios para seleccionar o tratar los materiales cuando ello sea necesario.
- Tener en cuenta las recomendaciones expuestas en el apartado 6.2.1 *Rellenos generales de procedencia terrestre*.

Se redactará un Plan de Ejecución de los rellenos, que formará parte del correspondiente procedimiento de ejecución.

6.3 MEJORA DE TERRENOS

6.3.1 Introducción

En ocasiones, los terrenos naturales y los rellenos portuarios son altamente deformables y/o no tienen la capacidad portante necesaria debido a la naturaleza de los materiales que conforman los fondos marinos y/o de los que sobre ellos se colocan.

Para limitar los asentamientos futuros y/o aumentar la capacidad portante del terreno existen diversos procedimientos de mejora:

- Sustitución del terreno.
- Precarga.
- Vibración profunda y columnas de grava.
- Compactación dinámica (figura 6.3.1).
- Instalación de drenes.
- Inclusiones rígidas.
- Inyecciones y otros tipos de mejora.

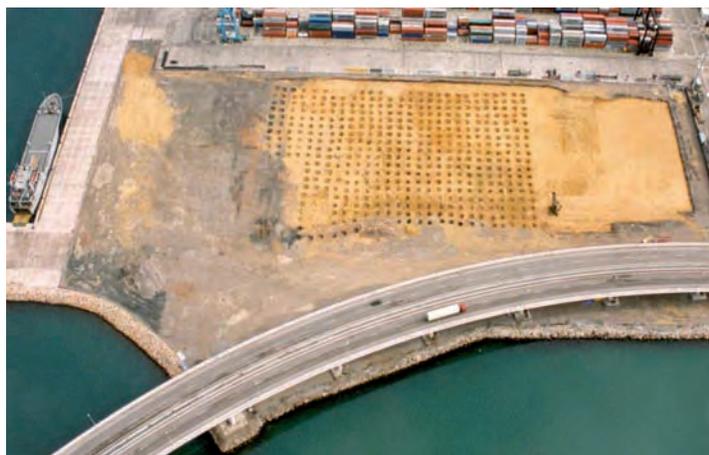


Figura 6.3.1 Compactación dinámica

La elección del procedimiento de mejora se debe realizar en función de los siguientes parámetros:

- La naturaleza del terreno que se pretende mejorar.
- La mejora que se pretende conseguir.
- El plazo temporal para la obtención de resultados.
- El coste de las distintas opciones.

6.3.2 Sustitución del terreno

La retirada de los terrenos no aptos y la sustitución de los mismos por otros con características adecuadas es un procedimiento a considerar cuando:

- Se puedan utilizar los terrenos extraídos como rellenos en zonas próximas o existen vertederos en los que pueden ser depositados.
- Se disponga de materiales adecuados de relleno.
- Los otros procedimientos de mejora sean complicados, caros o ambas cosas.

La sustitución del terreno se realizará teniendo en cuenta que:

- La retirada de los suelos no aptos se ejecutará extrayendo la totalidad de lo previsto en el Proyecto.
- En la colocación del material de sustitución se procederá de la forma prevista para los distintos tipos de relleno.

6.3.3 Precarga

La precarga es una práctica que consiste en depositar y mantener durante un período de tiempo una carga sobre el terreno, con la finalidad de acelerar su consolidación y permitir su puesta en uso en un plazo breve de tiempo (figura 6.3.3 A).



Figura 6.3.3 A Precarga

La precarga se puede realizar en una o varias fases. Es un procedimiento especialmente recomendado para estabilizar los asientos en terrenos deformables.

A título orientativo, se acompaña la tabla 6.3.3 *Mejoras producidas por precargas* (Fuente: TABLA 3.9.1 ROM 0.5-05) con el orden de magnitud de la variación de alguno de los parámetros que caracterizan el terreno por efecto de la precarga.

SUELOS COHESIVOS BLANDOS	ANTES DE LA PRECARGA	DESPUÉS DE LA PRECARGA
Peso específico seco, γ_d (kN/m ³)	12	15
Módulo de deformación (edométrico), E_m (MPa)	2	10
Resistencia al corte sin drenaje, s_u (kPa)	10	20

SUELOS ARENOSOS FLOJOS	ANTES DE LA PRECARGA	DESPUÉS DE LA PRECARGA
Densidad relativa, D_r (%)	40	70
Módulo de elasticidad, E (MPa)	10	30
Ángulo de rozamiento interno, ϕ	28	32

Tabla 6.3.3 *Mejoras producidas por precargas*

Previamente a la realización de la precarga se debe verificar que la misma forma parte del Proyecto y que los parámetros considerados en el mismo corresponden a la naturaleza de los terrenos a precargar.

En el caso de que la precarga no forme parte del Proyecto, se redactará el Proyecto de Precarga, que contendrá lo siguiente:

- Informe geotécnico, con determinación de la estratigrafía del terreno y de sus características geotécnicas. Para cada estrato o nivel es necesario conocer:
 - La densidad y humedad natural.
 - Los módulos de deformación.
 - El coeficiente de consolidación.
 - La resistencia al corte.
- Comprobación de la estabilidad de los rellenos y, en su caso, de las estructuras de contención y de aquellas que puedan ser afectadas por estar próximas. A veces para conseguir

los coeficientes de seguridad necesarios se tiene que recurrir a cargar por fases, de forma que con la primera fase o escalón de carga, al disminuirse el índice de huecos, se mejora el terreno lo suficiente para soportar con seguridad el siguiente escalón de carga, y así sucesivamente.

- Definición de las superficies a cargar, de las cargas y del tiempo de aplicación de las mismas.

La precarga del terreno se efectuará considerando:

- Elección del material de carga:
 - Materiales que se puedan reutilizar en futuros trabajos de las obras: escolleras, todo-uno, rellenos, bloques de hormigón, etc.
 - Materiales disponibles en las proximidades que puedan ser utilizados durante el plazo necesario.
 - Materiales aportados expresamente para esta operación.
- Preparación del terreno donde se realiza la precarga al objeto de:
 - Facilitar la evacuación de las aguas.
 - Posibilitar el acceso de las máquinas para efectuar la carga y en su caso instalar drenes.
 - Colocar los elementos para controlar los asientos.
 - Delimitar las zonas a cargar. Se instalarán referencias topográficas que permitan restituir los replanteos cuantas veces sea necesario.
- Realización de la precarga de acuerdo con el Proyecto:
 - Se instalarán los drenes si han sido previstos.
 - Se extenderá, cuando fuera necesario, una capa de material permeable que facilite la evacuación de las aguas y, en su caso, evite la contaminación de los terrenos.
 - La precarga se hará por capas de espesor uniforme, normalmente no superior a un metro.
- Retirada del material empleado en la precarga y depósito del mismo en el lugar previsto.
- Regularización de la superficie.
- Control del tratamiento. Se medirán:
 - La carga aplicada. Cuando se realice con material de relleno mediante el control de su densidad aparente y de su volumen.
 - Los asientos del terreno, que se miden mediante placas de asiento (figura 6.3.3 B) colocadas en la superficie del terreno natural. Conviene controlar también los asientos a distintas profundidades, bien con extensómetros de suelos colocados verticalmente o bien mediante tubos telescópicos de medida de asientos.

- Las presiones intersticiales, mediante piezómetros -neumáticos o de cuerda vibrante- introducidos en el terreno a distintas profundidades y con el replanteo de su ubicación exacta.

Esta toma de datos permitirá conocer la evolución del proceso de consolidación y ajustar los plazos de mantenimiento de las cargas. Un reconocimiento geotécnico posterior permitirá verificar que se ha obtenido la mejora prevista del terreno.



Figura 6.3.3 B Placa de asiento

La precarga es un procedimiento muy utilizado para mejorar terrenos en las obras marítimas, puesto que habitualmente se puede reutilizar el material de la precarga.

Cuando las superficies donde se realiza la precarga son extensas se debe estudiar la posibilidad de sectorizar el tratamiento, de forma que con el mismo material se puedan cargar sucesivamente distintas áreas. Para ello se requiere planificar convenientemente la realización de los rellenos.

6.3.4 Vibración profunda

La vibración profunda es una técnica que mejora los terrenos por la acción de una vibración energética; esta técnica se aplica con éxito en terrenos granulares flojos. La vibración transmitida al terreno provoca la inestabilidad de su estructura, induciendo una licuefacción parcial y provocando asientos en superficie.

Se realiza con vibradores de gran tamaño -con peso entre 20 y 40 kN y con diámetros entre 20 y 50 cm- y se pueden tratar terrenos arenosos hasta profundidades de 15 m.

El radio de acción de la vibración depende de la potencia del equipo y del tipo de terreno. En la práctica usual, se suele hacer el tratamiento con una columna de vibrado por cada 3 m² a 5 m², con lo que se obtiene un aumento de la densidad media del terreno muy apreciable.

Para que el terreno se licue con la vibración es preciso que su contenido en finos -limos más arcillas- sea prácticamente nulo. Con contenidos de finos casi nulos -inferiores al 5%- se consiguen densificaciones por la vibración de los "torpedos" que se introducen en el terreno. Este tratamiento se denomina VIBROFLOTACIÓN.

Para terrenos con un contenido en finos -entre el 5% y el 20%-, la acción del vibrador produce una densificación en la proximidad del punto de actuación. La retirada del vibrador deja un hueco que se rellena con un material granular de aportación. Este procedimiento mixto de vibración con la inclusión de un material granular se denomina VIBROSUSTITUCIÓN (figura 6.3.4).



Figura 6.3.4 Vibrosustitución

Estos tratamientos dejan la parte superior del terreno poco compactada, siendo necesario un tratamiento de compactación con rodillos vibrantes en superficie.

Con la vibración profunda se pueden alcanzar densidades relativas altas ($D_r=75\%$) y resistencias a la penetración dinámica -N del SPT- del orden de $N=25$ ó superior, o resistencias a la penetración estática - q_c del cono holandés- superior a 10 MPa.

Con estos procedimientos en terrenos arenosos flojos es posible mejorar el suelo de forma que se elimine la necesidad de realizar cimentaciones profundas que, en otro caso, hubieran sido necesarias. La calificación de la aplicabilidad de estos métodos a los distintos tipos de terreno se resume en la Tabla 6.3.4 (Fuente: TABLA 3.9.2 ROM 0.5-05).

TIPO DE TERRENO	VIBROFLOTACIÓN	VIBROSUSTITUCIÓN
Arenas limpias*	Excelente	No es aplicable
Arenas limosas	Regular	Excelente
Fangos	Mala	Buena o regular
Arcillas	No es aplicable	Buena
Rellenos vertidos	Depende del tipo de material	Buena
Vertidos de inertes	No es aplicable	No es aplicable

* Menos del 5% de finos

TABLA 6.3.4 *Aplicabilidad de los tratamientos de vibración profunda a los distintos tipos de terreno*

El proceso de ejecución de **una vibroflotación en terrenos emergidos** es el siguiente:

- 1.º Preparación del terreno, de forma que se facilite la evacuación de las aguas y los movimientos de la maquinaria.
- 2.º Replanteo. Se instalarán bases de replanteo que permitan restituir los puntos en caso necesario.
- 3.º Acopio, cuando esté prevista la aportación de material granular.
- 4.º Realización de la vibroflotación con la siguiente secuencia:
 - a) Introducir el vibrador por acción de su propio peso, de vibración y de la inyección de aire o agua a presión por su extremo inferior.
 - b) Cuando se alcanza la profundidad requerida, se suspende la inyección de agua o aire y se continúa la vibración provocando una consolidación del terreno próximo. En

terrenos con contenidos de finos superiores al 5% se producen unas oquedades que se rellenan con la aportación de material granular.

- c) Cuando vibrando en un punto se consigue la consolidación deseada se eleva el vibrador en torno a 50 cm y se repite la operación de vibrado.

En obras marítimas es adecuada la vibroflotación por vía húmeda por tres razones:

- Se dispone de agua sin coste.
- El nivel freático suele estar alto.
- La evacuación de las aguas no presenta problemas.

Las columnas de grava son un caso particular de vibrosustitución, técnica que se utiliza con cierta frecuencia en la mejora de suelos en obras portuarias y que se explica en el apartado correspondiente.

6.3.5 Compactación dinámica

La compactación dinámica es una técnica que consiste en impactar repetidamente sobre el suelo con una maza que se deja caer (figura 6.3.5 A). Se puede emplear en suelos granulares saturados o no, y proporciona buenos resultados en rellenos artificiales de naturaleza heterogénea, que son difícilmente mejorables con otros procedimientos.



Figura 6.3.5 A Compactación dinámica y precarga

La compactación dinámica clásica se lleva a cabo con mazas de entre 1 t y más de 100 t y con alturas de caída hasta 40 m (figura 6.3.5 B), y la compactación dinámica rápida con un pisón vibratorio accionado hidráulicamente (figura 6.3.5 C).

El espaciamiento usual entre puntos de impacto suele estar comprendido entre los 2 m y 3 m para las mazas pequeñas y más de 10 m para las mazas pesadas.

El tratamiento se suele realizar en varias pasadas.

La profundidad de la zona densificada está relacionada con la energía del golpe por la fórmula empírica:

$$D = \alpha \cdot \sqrt{M \cdot H}$$

donde:

M = masa de la maza (t).

H = altura de caída (m).

D = profundidad efectiva del tratamiento (m).

α = factor dependiente del tipo de terreno y de las características del tratamiento. El valor usual es próximo a 0,5 (m/t)^{1/2}. La presencia de un fondo rígido puede aumentar el valor de α .

Nota: Fuente ROM 0.5-05

Si existe un estrato rígido a una profundidad menor que D, se tomará como valor de D esa profundidad menor.

Para mejorar un terreno con un tratamiento de compactación dinámica se actuará con la siguiente secuencia de actividades:

- 1.º Caracterización de los suelos a tratar.
- 2.º Fijación de los parámetros a mejorar y cuantificación de la mejora.
- 3.º Diseño del proceso, peso de las mazas, alturas de caídas, cuadrícula, orden de los puntos a tratar y número de golpes por punto. Puede ser conveniente realizar ensayos para fijar los parámetros del proceso.
- 4.º Preparación de la superficie para facilitar el trabajo de las máquinas y la evacuación de las aguas superficiales.
- 5.º Replanteo.
- 6.º Compactación dinámica.
- 7.º Comprobación de los resultados.
- 8.º Relleno de cráteres y regularización del terreno.



Figura 6.3.5 B
Compactación dinámica clásica



Figura 6.3.5 C
Compactación dinámica rápida

La compactación dinámica se suele aplicar en varias fases. En cada fase se golpea en el mismo punto varias veces seguidas. Al cambiar de fase, se cambian los puntos de golpeo para intercalarlos entre los precedentes.

Este tratamiento se puede hacer también bajo el agua para lo que se utilizan mazas con formas hidrodinámicas.

La evaluación de la eficacia del tratamiento requiere, como en las otras técnicas, un reconocimiento geotécnico posterior al tratamiento de mejora.

Para facilitar el control de la ejecución se cumplimentará un parte de trabajo para cada punto de la malla, reflejando:

- Número del punto de tratamiento, con las coordenadas que definen su situación.
- Fecha y hora del comienzo y del final del tratamiento.
- Peso de la maza, altura de caída y número de golpes.
- Incidencias y observaciones.

6.3.6 Instalación de drenes

La instalación de drenes en terrenos de baja permeabilidad disminuye el recorrido de las aguas en su evacuación y, por lo tanto, el tiempo de consolidación de los terrenos, que es proporcional al cuadrado de la distancia que recorre el agua.

Existen diversos sistemas de instalación de drenes, exponiéndose a continuación algunos de ellos:

- Drenes de material granular, como las columnas de arena o grava, que pueden ser ejecutadas de diversas formas:
 - Vibroflotando el terreno con adición de grava o arena se pueden dejar instalados pilotes o columnas de grava, con alta permeabilidad inicial. Con el tiempo se pueden llegar a colmatar.
 - Introduciendo material granular en el interior de fundas de geotextil, que se alojan dentro de un pilote hincado con una tapa en la punta. Tras abrir la tapa se extrae el pilote, dejando instalada la columna de material granular “protegida” por el geotextil (figura 6.3.6 A). Estas columnas, al evitar la colmatación, mantienen la permeabilidad en el tiempo.
 - Relleno con material granular de los cráteres producidos por la compactación dinámica, son drenes de gran diámetro y permeabilidad.



Figura 6.3.6 A Columnas encapsuladas

- Drenes de plástico o mechas de geotextil (figura 6.3.6 B), que en general están sometidos a patentes. Se colocan con facilidad en terrenos flojos, con algún modelo se alcanzan rendimientos del orden de 3.000 m/día por equipo. La idoneidad de cada tipo debe ser consultada a los fabricantes teniendo en cuenta el terreno que se necesite mejorar.



Figura 6.3.6 B
Mechas de geotextil



Figura 6.3.6 C
Colocación mechas

Para instalar drenes se actúa con la siguiente secuencia:

- 1.º Replanteo de la malla.
- 2.º Preparación del terreno para facilitar el acceso y trabajo de la maquinaria y la evacuación de las aguas superficiales.
- 3.º Ejecución de los drenes verticales.
- 4.º Cuando se realizan precargas sobre terrenos poco permeables es necesaria la instalación de drenes horizontales para facilitar la evacuación de las aguas.
- 5.º Regularización del terreno.

6.3.7 Inclusiones rígidas

A medio camino entre los procedimientos de mejora descritos en los apartados anteriores y los elementos de cimentación, están las inclusiones rígidas. Entre ellas las más usuales son:

- columnas de grava.
- columnas de suelo-cemento o suelo-cal.
- micropilotes.
- refuerzos del terreno con pilotes de madera.
- pilotes de hormigón.

La ejecución de inclusiones rígidas en un terreno debe haber sido proyectada previamente.

COLUMNAS DE GRAVA

La técnica de columnas de grava (figura 6.3.7) para la mejora del terreno se puede realizar con tratamientos de vibrosustitución con adición de material granular, ó con otras técnicas específicas.



Figura 6.3.7 A Columnas de grava en fondo marino

A. Construcción de columnas de grava por vibrosustitución:

Para la ejecución de las columnas de grava, los procedimientos más difundidos en los últimos años en España son los siguientes:

- Vía seca con descarga inferior.
- Vía seca con aportación de grava desde la superficie.
- Vía húmeda (con alimentación de grava desde la superficie o en profundidad).

Si se emplea la vía seca, el vibrador penetra en el terreno por efecto de la vibración y del propio peso. En cambio, si se emplea la vía húmeda, el vibrador penetra asistido por la inyección de agua hasta la profundidad deseada. En este caso se debe analizar y presentar un procedimiento adecuado para el tratamiento de los lodos, que deben ser decantados en balsas.

En las columnas con alimentación en profundidad, el vibrador penetra hasta la cota prevista y la grava se coloca en sentido ascendente.

Para las columnas con aportación de grava desde superficie se vierte un manto de grava en el fondo marino con espesor variable en función del diseño del tratamiento, y la ejecución se lleva a cabo mediante la introducción del vibrador a través de dicha banqueta y del estrato de suelo a tratar. A continuación se va levantando el vibrador por intervalos de 0,5-1 m y compactando la grava que cae por el espacio anular entre el vibrador y la pared del agujero que se forma en la fase de penetración. En este sistema se requiere mayor volumen de grava que en los sistemas de alimentación por fondo.



Figura 6.3.7 B Ejecución Columnas de grava en tierra

Habitualmente el diámetro de las columnas es de 1 m, pudiendo variar en función de la naturaleza del suelo. Para definir el diámetro idóneo es conveniente realizar pruebas.

Se pueden conseguir columnas de longitud superior a 20 m. El porcentaje de material sustituido suele estar alrededor del 20%.

La granulometría de la grava utilizada será continua y con las siguientes limitaciones:

- Tamaño máximo (D_{max}) comprendido entre 2 cm y 10 cm.
- Contenido en finos (tamiz 0,08 UNE) menor que 5%.
- El tamaño del tamiz que deja pasar el 15% del material (D_{15}) debe estar comprendido entre 0,1 y 0,5 mm.

PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN:

- Preparación del terreno.
- Replanteo de los puntos de actuación.
- Suministro y acopio de materiales.
- Perforación del terreno.
- Relleno de la perforación mediante grava.
- Capa de reparto y regularización.

PARÁMETROS DE CONTROL:

- Antes del comienzo de la obra:
 - Comprobación que la plataforma de trabajo presenta la suficiente capacidad portante para la circulación de la maquinaria.
 - Comprobación del replanteo de las columnas. Identificación de las mismas.
 - Energía de vibración.
 - Magnitud de las elevaciones del vibrador así como la energía de compactación empleada.
- Durante la ejecución de los trabajos:
 - Número y situación en planta de cada columna definida por sus coordenadas.
 - Cotas de inicio y final de cada columna.
 - Fecha de comienzo y duración de la ejecución de cada columna.
 - Tiempo de perforación y de tratamiento.
 - Energía aplicada durante la hinca.
 - Energía de compactación y altura de los sucesivos tramos de elevación del vibrador.
 - Longitud de las columnas.
 - Diámetro de las columnas.
 - Granulometría de la grava empleada.
 - Cantidad de grava empleada.
 - Incidencias y observaciones.

Se cumplimentará una ficha para cada una de las columnas donde quedarán reflejados todos estos parámetros. Además, se deberán incluir los comentarios de las incidencias o anomalías surgidas durante la hinca.

Para la ejecución de **columnas de grava en terrenos sumergidos** además se observará lo siguiente:

- Se dispondrá de un acopio suficiente de material granular. Habitualmente, los equipos de vibrosustitución marítima trabajan de forma continua, incluso festivos, y se debe asegurar el suministro del material.

- La pontona sobre la que van instalados los equipos de vibrosustitución se elegirá en función de la altura de ola con la que tenga que trabajar y los equipos que tenga que soportar.
- Los equipos auxiliares para la aportación de material, el transporte de personal y el combustible deben estar previstos con suficiente antelación.
- Se dispondrá de un sistema de posicionamiento que asegure la situación de las columnas con la tolerancia fijada en el Proyecto.

B. Técnicas específicas:

- Relleno de una camisa metálica previamente hincada con grava u otro material granular. La camisa lleva en su extremo inferior un dispositivo, a modo de charnela, que se cierra al introducir la camisa y se abre al extraerla una vez rellenado su interior. La grava o el material granular se puede colocar directamente en el interior de la camisa metálica o en una funda de geotextil que a su vez se introduce en la camisa.

Este procedimiento se puede realizar en terrenos sumergidos hincando camisas con longitud suficiente para que su extremo superior quede por encima del nivel del agua, que se rellenan de grava hasta la cota requerida y se extraen a continuación.

La preparación de la superficie del terreno, replanteo y controles de ejecución son los descritos en el apartado 6.3.4 *Vibración profunda*.

COLUMNAS DE MORTERO O CAL

Técnica que propicia la construcción de pequeños pilotes de mortero o cal, de menor capacidad portante que los pilotes de hormigón, pero con mayor capacidad que las columnas de grava. Normalmente, se construyen en diámetros en torno a 50 cm. Pueden sustituir a las columnas de grava en terrenos blandos que no aseguran la suficiente coacción lateral.

El sistema constructivo se realiza con la siguiente secuencia de actividades:

- 1.º Se regulariza la superficie del área a tratar, con o sin la construcción de una plataforma, para conseguir la regularidad geométrica y la capacidad portante necesarias para el trabajo de la maquinaria.
- 2.º Se replantean los puntos de actuación.
- 3.º Se procede a realizar la perforación mediante un tornillo especial hasta la profundidad requerida; una vez que se llega a ella, se invierte el giro y se extrae el tornillo. Durante la ascensión se inyecta mortero por el interior del vástago.

La separación de las columnas suele ser inferior a 3 m. La tensión máxima de trabajo de la columna se sitúa entre 1 y 4 MPa. El mortero de inyección requiere un mínimo de 110 kg/m³ de cemento.

La ejecución de los trabajos se debe hacer en retirada para no pasar con las máquinas sobre las columnas recién construidas.

Este procedimiento es especialmente recomendable para suelos blandos y orgánicos.

MICROPILOTES

El micropilote es un pilote de diámetro comprendido entre 100 y 250 mm, ejecutado de la siguiente forma:

- 1.º Perforación del taladro. Se hace con equipos ligeros fácilmente transportables y que requieren poco espacio para operar.
- 2.º Introducción de la armadura en el taladro.
- 3.º Relleno del taladro con lechada o mortero de cemento.

Es un procedimiento aplicable a cualquier tipo de terreno.

La ejecución se debe hacer de forma que se asegure que la armadura quede protegida por el relleno de lechada o mortero. El volumen de relleno inyectado suele ser el doble del volumen teórico del taladro, pero dependiendo del tipo de terreno y de la presión a la que se inyecta se puede aumentar de forma muy importante -por encima de 5 veces el volumen teórico-, en cuyo caso es recomendable reconsiderar la conveniencia de utilizar micropilotes.

En escolleras o rellenos muy permeables se pueden instalar fundas de geotextil que retienen la lechada que se inyecta en su interior para formar el micropilote. Las lechadas deben ser fluidas para lo que se dosificarán con una relación agua/cemento entre 0,5/1 y 1/1. Una vez ejecutado el micropilote se realizará una comprobación visual de no estrangulamiento del geotextil para lo que se descubrirán en una longitud de 1,5-2 m desde la superficie.

Durante la ejecución se controlará y registrará los siguientes datos:

- Referencia del micropilote -número-.
- Situación: Coordenadas del punto de inicio de la perforación e inclinación.
- Longitud del micropilote.
- Dosificación, presión y volumen de la inyección.
- Referencia de las probetas.

PILOTES DE MADERA

El refuerzo del terreno con pilotes de madera en general de eucaliptos, es una práctica a considerar para la consolidación de zonas de marisma sobre las que se tengan que construir caminos.

En la práctica la longitud de los pilotes se limita a 5 m.

6.3.8 Inyecciones y otros tipos de mejora

Técnica de mejora de terrenos como resultado de la introducción en los mismos de lechada de cemento y agua, bentonita u otros aditivos mediante inyecciones. Su objetivo es conseguir:

- Reducir la permeabilidad del terreno.
- Aumentar la capacidad portante.
- Disminuir la deformabilidad.

Se distingue entre los siguientes tipos de inyección:

- Inyecciones de impregnación, en las que la lechada o mezcla química rellena los huecos del terreno sin alterarlo.
- Inyecciones de compactación, en las que con la inyección de un mortero de cemento de baja relación agua/cemento se forma un bulbo desplazando el terreno.
- Inyecciones de fracturación, en las que la lechada rompe el terreno, lo desplaza y rellena los huecos que ha producido.
- Inyecciones de alta presión en las que a través de una tubería con orificios se introduce en el terreno un chorro de lechada a gran velocidad.

INYECCIONES DE IMPREGNACIÓN

Es una técnica adecuada para reducir la permeabilidad del terreno forzando la entrada de lechada de cemento, agua y aditivos a través de los poros del suelo.

La lechada se hace circular con presiones moderadas, sin llegar a romper el suelo, a través de suelos granulares ampliamente permeables (K entre 10^{-1} y 10^{-2} cm/s).

Para suelos finos (K entre 10^{-2} y 10^{-4} cm/s) se inyectan, sin romper el suelo, otros productos como silicatos o resinas de mayor poder de penetración.

Para conseguir cierta estanqueidad, las inyecciones se realizan con espaciamientos cortos –entre 1 m y 3 m-. La permeabilidad de los terrenos tratados puede resultar bastante baja, del orden de 10^{-5} cm/s ó inferior.

La resistencia del terreno y su deformabilidad también quedan mejoradas con estos tratamientos de inyecciones de impregnación.

INYECCIONES DE COMPACTACIÓN

Las inyecciones de compactación o desplazamiento se realizan con la siguiente secuencia:

- 1.º Se ejecuta una perforación hasta alcanzar la profundidad prevista en el Proyecto.
- 2.º Se inyecta a través de la tubería -habitualmente se utiliza la misma para perforar e inyectar- un mortero de cemento plástico -entre 5 cm y 10 cm de asiento en el cono de Abrams- hasta cumplir con los criterios de rechazo establecidos en el Proyecto -presión de inyección, volumen de mortero inyectado o levantamiento del terreno-.

INYECCIONES DE FRACTURACIÓN

La inyección de lechada de cemento se realiza a través de un tubo con orificios regularmente espaciados, conectados por el exterior a unos manguitos flexibles.

La inyección se hace por tramos introduciendo la lechada de cemento para que salga por uno o varios manguitos. Al aislar un tramo de tubo y forzar la presión de la lechada dentro de él, cede el manguito y la lechada sale al exterior, rompiendo el suelo según planos con orientaciones que dependen del estado tensional.

La lechada se inyecta con una presión de varias decenas de bares hasta provocar la rotura del terreno; a continuación para mantener el caudal de inyección se utilizan presiones más moderadas, no superiores a 1 MPa. La inyección sometida a estas presiones recorre las grietas abiertas y comprime el suelo. Como resultado, el terreno queda reforzado con una serie de lajas de inyección.

INYECCIONES DE ALTA PRESIÓN - JET-GROUTING -

El jet-grouting es una técnica destinada a tratamiento de suelos en profundidad consistente en la desagregación del suelo mezclándolo con un agente cementante.

El útil principal del jet-grouting es una tubería con pequeños orificios -toberas- a través de los que se inyectan chorros fluidos -jets- con velocidades muy altas y caudales de algunos litros por segundo.

El material que se inyecta a través de las toberas puede ser:

- Lechada de cemento -jet I-.
- Lechada de cemento envuelta en un chorro de aire -jet II-.
- Lechada de cemento y chorros de agua y aire inyectados desde toberas distintas -jet III-.

Recientemente, se utilizan dardos potentes para realizar columnas de gran tamaño "superjet".

El tratamiento del terreno se realiza de abajo a arriba. Primero, se introduce el útil de inyección hasta la profundidad requerida mediante una perforación previa y, después, simultáneamente a la inyección, se extrae el útil. La cantidad de lechada que se mezcla con el suelo depende de la velocidad de extracción del útil y de la presión de inyección del *jet-grouting*.

En la figura 6.3.8 se representa la mejora del terreno de cimentación de un muelle de cajones realizada con *jet-grouting*.

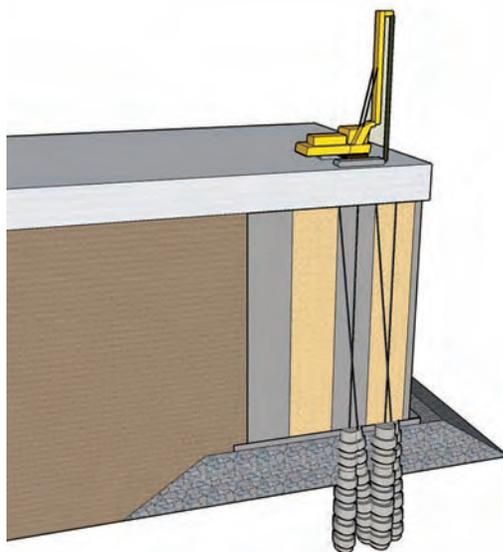


Figura 6.3.8 A Jet-grouting

El procedimiento es aplicable a cualquier tipo de terreno, excepto a los excesivamente permeables -escolleras o gravas muy limpias- por cuanto éstos requieren un tratamiento de cierre previo al *jet-grouting*. En suelos con materia orgánica pueden existir dificultades para el fraguado del conjunto lechada-terreno.

El proceso de ejecución de las inyecciones se ajustará a lo previsto en el Proyecto y a las especificaciones de los procedimientos de ejecución que se utilicen. En todo caso, se procederá de la siguiente forma:

- 1.º Campo de pruebas para fijar los parámetros del tratamiento.
- 2.º Almacenamiento de los materiales a inyectar -cemento y aditivos- en cantidad suficiente en función de los ritmos previstos de suministro y utilización.
- 3.º Nivelación y preparación de la superficie de los terrenos a tratar.
- 4.º Replanteo de los puntos de aplicación de las inyecciones. Se establecerá un sistema de bases de replanteo que permitan la restitución del mismo.
- 5.º Establecimiento del orden de las inyecciones.
- 6.º Inyecciones.

Se cumplimentará un parte para cada punto de inyección en el que se reflejará la siguiente información:

- Identificación. Situación en planta. Profundidad.
- Material inyectado. Dosificación.
- Fecha y hora del comienzo y del final.
- Presiones.
- Todos aquellos registros previstos en el Proyecto o por los procedimientos de ejecución.

La verificación de los resultados de las inyecciones requiere de reconocimientos, pruebas y ensayos que deben ser establecidos previamente y que varían en función de la naturaleza del terreno, de los equipos empleados y de la mejora que se pretende conseguir.

ESTABILIZACIÓN EN MASA

Este método de mejora del terreno puede emplearse para dotar de resistencia al terreno directamente o bien para crear una superficie suficientemente estable para permitir el paso y actuación de la maquinaria sobre un terreno blando. También puede emplearse como sistema de remediación de suelos contaminados, fijando en el terreno las sustancias contaminantes mediante la acción físico-química del conglomerante.

Para la estabilización en masa como sistema de mejora del terreno debe elegirse un conglomerante hidráulico que, mezclado con el terreno natural, proporcione resistencia suficiente para el fin perseguido.

Pueden emplearse todo tipo de conglomerantes, tales como cemento, cal o incluso yeso, sólo o mezclados, según el tipo de suelo que queramos estabilizar y su granulometría, contenido de agua, finos, materia orgánica, composición química, etc...

El conglomerante puede ser añadido por vía seca, mediante aire a presión, de forma que el conglomerante utilice para su fraguado una parte del agua del suelo blando, o bien por vía húmeda, mediante agua a presión en la cantidad adecuada, si la humedad del suelo no es suficiente.

Para conseguir el grado de mezclado necesario debe emplearse la maquinaria adecuada, capaz de alcanzar la profundidad deseada, tal como la que se presenta en la Figura 6.3.8 B, consistente en un tambor mezclador, de eje horizontal, montado en el extremo de un soporte que se acopla en el brazo de una retroexcavadora. El accionamiento del tambor es hidráulico. El soporte del tambor, de hasta 5 m de longitud en la figura, lleva un tubo por el que se inyecta el conglomerante seco o en forma de lechada. La longitud del soporte condiciona la profundidad hasta la que puede realizarse la mejora con este procedimiento. Para la dosificación del conglomerante debe contarse con unos depósitos capaces de pesar continuamente la cantidad aportada.



Figura 6.3.8 B Mezclador para estabilización en masa

Como el suelo tratado no puede pesarse, la dosificación debe hacerse en peso de conglomerante por unidad de volumen de suelo. A tal efecto, debe marcarse sobre el suelo a tratar una cuadrícula definiendo unas celdas en cada una de las cuales se consume por completo un depósito de conglomerante, tal como se aprecia en la Figura 6.3.8 C.



Figura 6.3.8 C Replanteo de celdas de tratamiento

PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN

- Planificación de los frentes de actuación, teniendo en cuenta la resistencia que queremos que tenga el suelo tratado cuando la maquinaria deba pasar sobre él. Si el frente es muy corto, deberemos emplear más conglomerante para conseguir una resistencia suficiente en 1 día. Si el frente es más largo, podremos utilizar una menor proporción de conglomerante para pisar al segundo, tercer, cuarto, etc... día.
- Replanteo de las celdas de tratamiento, de acuerdo con la capacidad de almacenamiento de conglomerante, su tipo y dosificación, ya que a los 30-45 minutos de humectarlo, comienza el fraguado y ya no puede mezclarse porque el tambor no es capaz de girar.
- Extensión de material de regularización, previa a la situación de la maquinaria sobre una celda tratada anteriormente, ya que la superficie de ésta resulta muy irregular por la acción del tambor sobre la superficie.
- Mezclado previo de homogeneización, para conseguir un grado de humedad similar en toda la celda a tratar y en todo el espesor, puesto que es posible que las capas superiores se encuentren más secas que las más profundas.
- Adición de conglomerante y mezclado, de una forma continua y a sentimiento del operador que, tras pocos días de experiencia puede conseguir un grado de homogeneidad bastante bueno.
- Espera al fraguado del conglomerante. Una vez se ha mezclado una celda por completo, se pasa a la celda contigua y así sucesivamente en hilera, de forma que se vuelve a pisar las celdas tratadas, avanzando así a la hilera siguiente, cuando el material tratado ha alcanzado suficiente resistencia, tal como se aprecia en la Figura 6.3.8 D.

PARÁMETROS DE CONTROL

- Antes del comienzo del tratamiento:
 - Conseguir en laboratorio una fórmula de trabajo con la definición del conglomerante a utilizar y la proporción del mismo, teniendo en cuenta que la resistencia del terreno mejorado "in situ" puede ser del orden de un tercio de la de laboratorio. La dosificación de conglomerante puede variar entre 50 y 200 Kg por metro cúbico de suelo, dependiendo de sus características geotécnicas y de la resistencia a conseguir.
 - Realizar un área de prueba sobre la que poder correlacionar los parámetros obtenidos en el laboratorio y corregir la dosificación y el procedimiento para su optimización. Un buen procedimiento de medida de la resistencia "in situ" es el resultado del ensayo CPT.
- Durante la ejecución del tratamiento
 - Control del tiempo de homogeneización previa de cada celda y del tiempo de mezclado, que nos dará el rendimiento previsto.
 - Control exhaustivo de la fecha de tratamiento de cada celda para evitar accidentes por hundimiento de la maquinaria.
 - No cargar en absoluto el terreno tratado hasta una distancia suficientemente grande del frente de tratamiento, para evitar fenómenos de inestabilidad y hundimiento por extrusión del suelo blando por debajo de la capa tratada.
- Una vez terminado el tratamiento
 - Comprobación de espesores mediante la realización de sondeos con extracción de testigo. Estos testigos pueden utilizarse en ocasiones para tallar probetas para romper en laboratorio.



Figura 6.3.8 D Frente de tratamiento

- Comprobación de la resistencia alcanzada por el suelo tratado, mediante ensayos de carga con placa, SPT, penetrómetros dinámicos, presiómetros, y fundamentalmente CPT, según la resistencia objetivo.

6.4 RELLENO DE TRASDÓS

6.4.1 Definición

Los rellenos de TRASDÓS DE MUELLES son los que están en contacto con los paramentos de las estructuras o en la proximidad de los mismos, e influyen en el comportamiento estructural las mismas (figura 6.4.1). Las características físicas del material del relleno del trasdós determinantes de la estabilidad de las estructuras son: el ángulo de rozamiento interno, el coeficiente de rozamiento con el paramento de la estructura, la permeabilidad y la densidad.



Figura 6.4.1 Relleno de trasdós

6.4.2 Suministro y control del material

El material debe cumplir las especificaciones del Pliego de Condiciones del Proyecto. Con frecuencia, se utiliza como material para el relleno del trasdós, el denominado “*todo-uno*” de cantera o pedraplén, por su elevado ángulo de rozamiento interno, alto coeficiente de rozamiento con el paramento del trasdós, suficiente permeabilidad y disponibilidad al ser un subproducto de la extracción de escollera en las canteras.

El material que se utilice para el relleno del trasdós se recomienda seleccionarlo en origen por los siguientes motivos:

- Para eliminar el exceso de finos, que aumenta la densidad del relleno, disminuye el ángulo de rozamiento interno y el coeficiente de rozamiento del material con los paramentos. También se evita el transporte de los finos desde la cantera a la obra y desde ésta al vertedero.
- Para permitir la separación de las piedras grandes que se pueden utilizar como escollera. Con ello se evitan daños en las cajas de los camiones, se soslaya el acondicionamiento de las mismas, necesario para soportar los impactos, y se asegura que durante la colocación no existen partículas de tamaño excesivo que puedan dañar los paramentos de las estructuras.

Cuando esté previsto construir pilotes "*in situ*", a través de los rellenos de trasdós, es conveniente limitar el tamaño máximo de las partículas a 1/3 del diámetro de los pilotes para facilitar la ejecución de los mismos.

El sistema de CONTROL se debe establecer de forma que no interfiera en los procesos constructivos y deberá contemplar los siguientes aspectos:

- Reconocimiento previo de la cantera, comprobando que las características físicas y químicas de los materiales cumplen las especificaciones del Pliego y, en consecuencia, aprobar o rechazar los distintos frentes de la misma.
- Control de la ubicación y de la forma de colocación del material.
- Control granulométrico.

6.4.3 Colocación

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. Para ello se deben tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Comprobar, inmediatamente antes de iniciar la puesta en obra, que no existen otros materiales depositados en la zona donde se deben colocar los rellenos de trasdós.
- Realizar la colocación de forma que se evite desplazar otros materiales hacia el trasdós. Cuando sea posible el proceso se iniciará desde el paramento y se avanzará alejándose del mismo para evitar depositar fangos en contacto con él o junto a la banqueta de escollera.
- Verificar que se cumple la condición de filtro entre el material de relleno del trasdós y los que van a estar en contacto con él, instalando filtros si fuera necesario.
- Evitar que el relleno de trasdós se escape a través de las juntas de las estructuras. En caso necesario se colocará un filtro de geotextil de manera que permita los movimientos del muro sin rasgarse.

- Verificar, antes de trasdosar una estructura en fase constructiva, que 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. Por ejemplo, los muelles de cajones requieren un determinado grado de relleno de las celdas para ser estables con el empuje del relleno del trasdós.
- Redactar un procedimiento de ejecución del relleno de trasdós atendiendo a las características de la obra, al Pliego y a las recomendaciones anteriores.
- Realizar controles batimétricos y topográficos -antes, durante y después de la colocación del material- para asegurar su correcta ubicación y conocer en cada momento el posible movimiento de los fondos marinos.

6.4.4 Filtros

Los filtros, que se instalan dependiendo de la granulometría del material del trasdós y la del material que está en contacto con él, pueden ser de dos tipos: los formados por una capa de material granular y los de fabricación industrial -filtros de geotextil-.

- Las características de los filtros de geotextil deben ser tales que:
 - Cumplan la función de filtro, limitando el paso de partículas de determinado tamaño.
 - Posean suficiente permeabilidad y capacidad resistente.
 - Conserven sus características en el tiempo, asegurando su durabilidad.
 - No faciliten superficies de deslizamiento.
- Manipulación y acopio del geotextil:
 - Se tendrán en cuenta las recomendaciones de los fabricantes.
- Colocación del material del geotextil:
 - Se tendrán en cuenta las recomendaciones de los fabricantes.
 - Se dispondrán las piezas debidamente solapadas.
 - Se dispondrá sobre el trasdós del talud del todo uno, o bien directamente sobre las paredes de los cajones que configuran la junta.
 - Se analizará la conveniencia de enrasar la superficie sobre la que se coloca el filtro para evitar punzonamientos.

6.5 RELLENOS DE CELDAS DE CAJONES

6.5.1 Definición

Los rellenos de celdas de cajones son los que se utilizan para llenar los aligeramientos de los cajones de hormigón armado una vez fondeados.

Sus características químicas deben ser tales que el relleno no afecte al hormigón y/o al acero. Las características físicas del relleno de celdas que influyen en el comportamiento estructural del cajón son: la densidad saturada y el ángulo de rozamiento interno.

6.5.2 Suministro y control del material

El material para el relleno de celdas de cajones puede proceder de:

- Préstamos o excavaciones (figura 6.5.2 A).



Figura 6.5.2 A Relleno procedente de préstamos

- Canteras. Se puede utilizar el material sobrante después de extraer escolleras, todo-uno y áridos, siempre que el mismo tenga suficiente densidad y no se expanda por la acción del agua.
- Productos procedentes de dragados (figura 6.5.2 B). Si son granulares y están ejecutados con vertido hidráulico se distribuyen con facilidad. Se debe evitar el rebose del material ya que puede contaminar las banquetas o el trasdós de las estructuras.

Se controlará el material para asegurar que se cumplen las especificaciones del Pliego y, de forma particular, la densidad “*in situ*”.

6.5.3 Colocación

Habitualmente las celdas de los cajones se rellenan con vertido directo desde camión aunque, en caso necesario, también se pueden rellenar con draga y difusor de reparto de forma que se van rellorando varias celdas al mismo tiempo.



Figura 6.5.2 B Relleno procedente de dragado

El relleno de celdas de cajones debe ser colocado de forma que:

- La diferencia entre las alturas alcanzadas por el relleno en celdas contiguas no sea superior a la prevista en el Proyecto o en el estudio de las fases constructivas. Para ello, en caso de ser necesario, se utilizarán cintas transportadoras, grúas con bandeja o estructuras que permitan el paso de los equipos de transporte sobre celdas parcialmente rellenas.
- Si el proyecto lo ha previsto, no se deben hormigonar las juntas, hasta que las celdas de los cajones se hayan relleno, con el fin de evitar los esfuerzos puntuales que se pueden producir como consecuencia de los asientos del cajón.
- Se controlará la integridad física del cajón y los movimientos en planta y en alzado de las cuatro esquinas del mismo durante la operación del relleno de celdas, a efectos de introducir las correcciones oportunas.

6.6 RELLENOS LOCALIZADOS

6.6.1 Definición

En las obras marítimas son frecuentes los rellenos ubicados en zonas muy concretas y de reducida dimensión, que requieren unos materiales específicos y un determinado procedimiento de colocación. Entre ellos se encuentran:

- Rellenos para soporte de cimentaciones superficiales.
- Rellenos que deben ser atravesados por cimentaciones profundas.

- Rellenos de juntas entre cajones.
- Rellenos de canalizaciones.
- Rellenos en superestructuras de muelles.
- Rellenos de zanjas de drenaje.

6.6.2 Suministro y control del material

En general, los volúmenes requeridos de materiales para los rellenos localizados proceden de canteras o préstamos y son de escasa cuantía, por lo que no se presentan especiales dificultades para su suministro.

En los pliegos de los proyectos se especifican las características físico-químicas de los materiales, así como la forma de ejecución y los controles para verificar su cumplimiento.

Los materiales deben satisfacer una serie de requisitos, según cuál sea la finalidad a la que van destinados:

- Rellenos para soportar cimentaciones superficiales:
 - No deben ser plásticos.
 - Deben tener una deformabilidad limitada.
 - Deben cumplir las condiciones requeridas para los suelos adecuados.
- Rellenos que deben ser atravesados por cimentaciones profundas:
 - Se limitarán el tamaño máximo de las partículas en aquellos terrenos a través de los cuales se vayan a instalar pilotes a 1/3 de su diámetro y, en el caso de pantallas, a 1/3 de su espesor.
 - Se utilizarán materiales con la suficiente capacidad portante para permitir la circulación de las máquinas sobre ellos.
- Rellenos de juntas entre cajones:
 - Su granulometría debe ser tal que asegure que no se escape el material a través de las juntas.
 - Debe tener la suficiente permeabilidad.
- Rellenos de canalizaciones:
 - Las características de los materiales dependen de las instalaciones que se encuentren dentro de la canalización, así como de las dimensiones de ésta. Para las canalizaciones pequeñas es muy adecuado realizar el relleno con arena, ya que es fácil de colocar, tiene alta permeabilidad y reducida deformabilidad.

- Superestructuras de muelles:
 - El material de relleno para las canaletas y los huecos en la superestructura de los muelles debe ser de fácil compactación, no ser plástico y tener limitado su tamaño máximo a 100 mm.
- Zanjas drenantes:
 - El material no debe ser degradable.
 - La granulometría debe satisfacer las especificaciones del Pliego.

6.6.3 Colocación

La forma de colocación de los rellenos localizados está muy condicionada por el lugar en que se ubican los mismos y, en muchas ocasiones, se requiere la utilización de pequeña maquinaria para su puesta en obra y compactación.

Los volúmenes reducidos y la escasa incidencia económica que, a menudo, tienen estas unidades de obra no deben conducir a una falta de atención sobre ellas, puesto que su incorrecta ejecución puede tener importantes consecuencias sobre el resultado final de la obra.

6.7 BANQUETA PARA CIMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

6.7.1 Definición

Las banquetas son la base de cimentación para las estructuras marítimas de gravedad, están formadas por escolleras y/o todo-uno de cantera y sus objetivos son:

- Soportar la carga de las estructuras y transmitirla al terreno.
- Proporcionar una superficie de apoyo suficientemente uniforme, que pueda ser enrasada.
- Soportar la acción del oleaje y de las hélices de los barcos.
- Lograr que los asientos de las estructuras sean homogéneos.

6.7.2 Suministro y control del material

Las estructuras marítimas de gravedad son muy sensibles a las características de los materiales que forman la banqueta sobre la que se apoyan, ya que son un elemento estructural. Concretamente son altamente sensibles a:

- La granulometría -que condiciona la permeabilidad-, al ángulo de rozamiento interno y al coeficiente de rozamiento con la base de la estructura.

- Las características físico-químicas de los materiales -que condicionan la resistencia a la rotura y la durabilidad-.

Un material adecuado para construir el núcleo de la banqueta de cimentación de estructuras es un todo-uno de cantera con las siguientes características:

- Las partículas con tamaño menor de 20 mm quedarán limitadas al 10% del peso del material.
- El peso máximo de las partículas no será superior a 5 kN.
- Las características físico-químicas serán las prescritas en el Pliego.

Los mantos de protección del núcleo de la banqueta de cimentación estarán formados por escolleras -naturales o artificiales-, con pesos que les permitan mantener la estabilidad ante la acción del oleaje y/o de la agitación que producen las hélices de los barcos.

En la figura 6.7.2 se representa la sección de un dique vertical con una banqueta de cimentación de gran espesor.

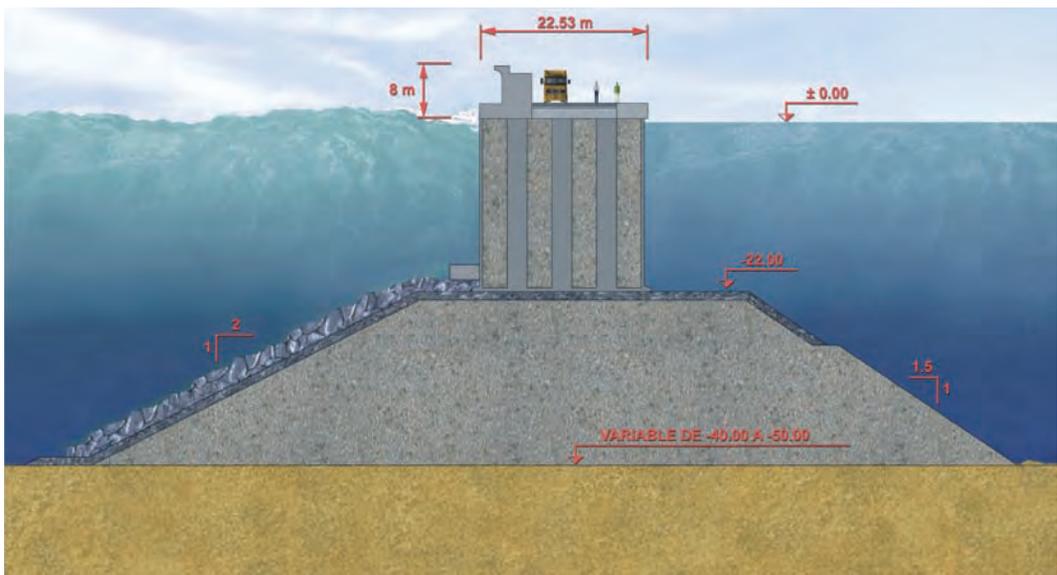


Figura 6.7.2 Sección banqueta

Las escolleras y el todo-uno procedentes de la cantera deberán ser seleccionados y controlados en la misma. De esta forma se evita interferir en los procesos de producción y se asegura la idoneidad de estos materiales, ante cuyas características son tan sensibles estructuralmente las obras.

6.7.3 Colocación

La colocación del material que forma la banquetta de cimentación se realiza con el auxilio de embarcaciones de los siguientes tipos:

- Pontonas. Se utilizan para banquetas con reducidos volúmenes de material y calados inferiores a 6 m, que impiden realizar la operación con otro tipo de embarcación. Sobre las pontonas se carga el material con el que se construirá la banquetta y se instala una retroexcavadora que será la encargada de colocarlo y enrasarlo. Si las banquetas se ubican cerca de terrenos emergidos con suficiente capacidad portante, la colocación del material se puede realizar con grúa y bandeja o cuchara desde ellos.
- Gánguiles de vertido por fondo (figura 6.7.3 A) o de vertido lateral. Se utilizan cuando las banquetas tengan que ser construidas en zonas de calado superiores a 6 m y/o los volúmenes de material sean importantes.



Figura 6.7.3 A Material banquetta sobre gánguil

La operación del vertido con gánguiles del material del núcleo de la banquetta requiere:

- Construir un cargadero, considerando las características de los gánguiles y la amplitud de la marea. En función de los rendimientos previstos puede ser conveniente que puedan operar varios camiones simultáneamente para la carga de los gánguiles.
- Redactar un Plan de Vertido, en el que se refleje la cantidad de material que debe llevar y las coordenadas del lugar de vertido para cada una de las operaciones del gánguil.

La colocación de las banquetas se hará de forma que no queden contenidos materiales con características no adecuadas en el núcleo de las mismas o debajo de ellas. A este respecto se hacen las siguientes recomendaciones:

- Efectuar un reconocimiento previo de la superficie sobre la que se apoya la banqueta y, en su caso, proceder a la limpieza de materiales no adecuados que puedan existir en dicha zona. La naturaleza del terreno -soporte de la banqueta- debe ser la considerada en las bases de partida del Proyecto.
- Evitar la “invasión” de materiales no aptos en la superficie de apoyo de la banqueta durante la ejecución de la misma.
- Instalar, en caso necesario, filtros para impedir la entrada de finos en el núcleo de la banqueta.

La colocación de las escolleras -naturales o artificiales-, que forman los mantos de protección de las banquetas, se hará después de perfilar el talud del núcleo con el auxilio de gánguiles, tanto de apertura por fondo como de vertido lateral (figura 6.7.3 B), o con grúa y bandeja desde una pontona.



Figura 6.7.3 B Gánguil de vertido lateral

En los diques verticales, los mantos de protección del núcleo de la banqueta se realizarán lo antes posible para reducir el riesgo de daños por efecto del oleaje, puesto que éste puede socavar la banqueta y afectar a la estabilidad estructural.

6.7.4 Control geométrico

Es recomendable obtener un acabado de la coronación del núcleo de la banqueta lo más próximo a la cota final fijada antes de verter el material de enrase. Si se dispone de los medios adecuados puede resultar oportuno, en ocasiones, efectuar una regularización de la coronación del núcleo a efectos de optimizar el material de enrase.

Para ello se realizará el control geométrico de la banqueta y, en su caso, se ajustará la cantidad de material y el lugar de cada vertido. Para determinar la cota superior de construcción de la banqueta debe tenerse en cuenta que:

- Una vez colocada la estructura, la banqueta tendrá un asiento entre el 2,5% y el 5% de su altura, dependiendo de la compacidad del núcleo de la banqueta y de las cargas soportadas.
- Los asientos del terreno sobre el que descansa la banqueta son función de su naturaleza, del peso de la banqueta y de la carga de la estructura. Se recomienda prever estos asientos al establecer la cota de coronación de la banqueta.
- La tolerancia en la cota de coronación de la banqueta se fijará siempre por defecto, y se debe situar en torno al tamaño máximo de las partículas incrementado en 100 mm. Sobrepasar la cota de coronación obliga a retirar el material sobrante, operación muy costosa.

6.8 ENRASE DE BANQUETA PARA CIMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

6.8.1 Definición

El enrase de la banqueta (figura 6.8.1) es la operación que se realiza para conseguir que la geometría de su superficie cumpla las especificaciones del Pliego con el fin de:

- Evitar esfuerzos puntuales en las estructuras que se asientan sobre la banqueta.
- Propiciar la exacta ubicación de las estructuras.
- Compensar los asientos.

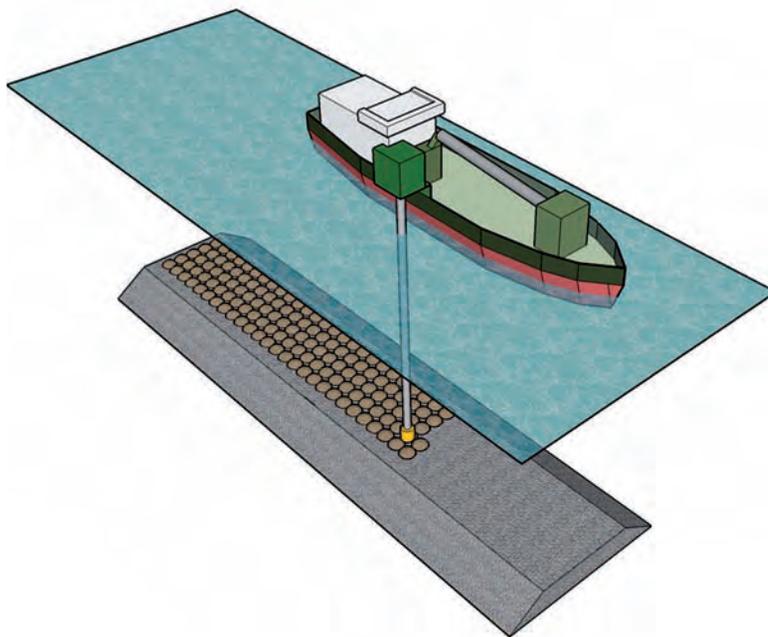


Figura 6.8.1 Enrase banqueta

6.8.2 Materiales

Cuando los tamaños máximos de las partículas que constituyen el núcleo de la banqueta son mayores que la tolerancia del enrase, es necesario disponer sobre ella una capa de material que cumpla las siguientes condiciones:

- Satisfaga las especificaciones del Pliego, en especial en lo referente al ángulo de rozamiento interno, al coeficiente de rozamiento con el paramento de la estructura y a la permeabilidad.
- Permita enrasar con las tolerancias requeridas.
- Tenga una granulometría que evite su penetración en el núcleo de la banqueta.
- Posea suficiente capacidad resistente.

En función del tipo de material que forma el núcleo de la banqueta, el material para el enrase podrá ser:

- Pedraplén entre 0,2 kN y 0,5 kN. Se empleará cuando el tamaño de la escollera de la banquetta esté comprendido entre 2 y 5 kN.
- Gravas gruesas 40/80 mm. Se utilizarán sobre escolleras menores de 2 kN, o bien sobre todo-uno con tamaño máximo de 5 kN.

Si la banqueta está constituida por todo-uno, que no contenga partículas mayores de 2 kN, se puede enrasar directamente sin aportación de otro tipo de material.

6.8.3 Colocación y enrase

La forma de colocación del material para el enrase depende en gran medida de:

- La cantidad de material a colocar.
- La profundidad donde se sitúa el mismo.
- El clima marítimo.
- El rendimiento previsto.

Las formas de colocación del material más utilizadas son:

- Desde tierra con el auxilio de grúas con cuchara o bandeja.
- Desde pontonas con el auxilio de máquinas retroexcavadoras o grúas.
- Desde gánguiles de apertura por fondo, parcialmente cargados.
- Desde gánguiles de vertido lateral.
- Con equipos especialmente diseñados para enrases a grandes profundidades (figura 6.8.3 A).



Figura 6.8.3 A Enrasador a gran profundidad

A su vez, los enrasos pueden realizarse por distintos procedimientos:

- Con el auxilio de buzos, que coloquen guías y hagan enrasos manuales, se pueden enrasar hasta 100 m²/día, en jornadas de trabajo de diez horas. La profundidad que limita las horas de inmersión y la normativa legal vigente condicionan los equipos y, por tanto, el número de buzos necesarios por equipo.
- Con elementos mecánicos muy variados, tales como:
 - Vigas metálicas, a modo de trailla submarina (figura 6.8.3 B), que se suspenden parcialmente y se arrastran desde un medio flotante.
 - Con una draga de rosario que, tras colocar el material de enrase en exceso, procede a dragar a las cotas requeridas. Se alcanzan rendimientos en torno a los 1.000 m²/día. Este procedimiento no es operativo con ola significativa mayor de 0,75 m.
 - Con dragas de cortador, instalando en la cabeza de dragado una estructura que actúa como enrasador. Los rendimientos que se alcanzan varían entre 500 y 800 m²/día.
 - Con equipos de gran porte diseñados para enrasar a grandes profundidades y/o extensas superficies. Se obtienen rendimientos por encima de 1.500 m²/día.



Figura 6.8.3 B Enrasador

6.8.4 Tolerancia y comprobaciones

La tolerancia en las cotas de la superficie enrasada son las establecidas por el Pliego de Condiciones.

La tolerancia condiciona el tamaño de las partículas mayores del material que se utiliza para el enrase, cuya dimensión mayor tiene que ser inferior a dicha tolerancia.

Al fijar la cota de enrase se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El previsible asiento del terreno natural sobre el que se apoya la banqueta.
- El asiento de la banqueta que no ha sido compactada y que, al compactarse, puede reducir su espesor entre el 2,5% y el 5%.
- Los asientos diferenciales que se producen entre el paramento exterior e interior de las estructuras de los muelles de gravedad debido al giro inducido por el empuje horizontal de los rellenos de trasdós.

El control de las cotas del enrase durante su ejecución tiene que ser exhaustivo, puesto que el coste de realizar correcciones es muy alto y, en todo caso, es muy superior al coste de controlar puntualmente la operación.

A fin de verificar la correcta ejecución del Proyecto se deben obtener y conservar los registros de las comprobaciones geométricas efectuadas:

- Al terminar el enrase.
- En todas y cada una de las fases de carga sobre la banqueta.
- En la colocación de los cajones (figura 6.8.4), de los bloques o de cualquier otro elemento que conforme la estructura.
- En las distintas fases de carga de la estructura (trasdós, superestructura...) hasta que se estabilicen los asientos.

Observar todas las consideraciones descritas anteriormente es muy importante, puesto que un enrase incorrecto tendrá consecuencias, tarde o temprano, sobre la estructura y puede causar serios daños en el resultado final de la obra.



Figura 6.8.4 Comprobación del enrase tras fondear el cajón

6.9 CANTERAS

6.9.1 Definición

La cantera es el lugar de donde se saca la piedra para las obras, distinguiéndose distintos tipos de ellas:

- Canteras de nueva apertura:

Se debe elegir esta opción cuando:

- No existan canteras en la zona o cuando existiendo no tengan capacidad para suministrar las cantidades de piedra en los tamaños requeridos.
- Las características físicas o químicas de las piedras de las canteras existentes no sean las prescritas por el Proyecto.
- El coste de la piedra de las canteras existentes no pueda ser asumido por la obra.
- Las condiciones de seguridad y/o ambientales no sean idóneas.
- Las redes viales que conectan las canteras existentes con la obra no sean adecuadas o presenten una adecuación compleja, larga o costosa.

Conviene tener en cuenta que las gestiones para la apertura de nuevas canteras requieren dilatados plazos temporales. Si estos trámites se inician una vez adjudicada la obra, se comprometen seriamente los plazos de ejecución.

- Reapertura de canteras cerradas:

- Esta opción resulta relativamente fácil cuando están vigentes los permisos de explotación y/o la cantera está en malas condiciones de seguridad, ambientales o de estabilidad de los frentes antiguos y estos aspectos pueden ser mejorados con una nueva explotación.
- Es frecuente la existencia de importantes volúmenes de materiales sobrantes de anteriores explotaciones. La posibilidad de utilizarlos en las obras, supone un aliciente para explotar la cantera.

- Canteras en explotación (figura 6.9.1 A):

- Se requiere modificar los planes de explotación para hacer frente al incremento de la demanda.
- Se habilitarán las superficies necesarias para clasificar las piedras por tamaños.
- Se comprobará que la red viaria que conecta con los acopios y las obras es adecuada y suficiente para soportar los incrementos de tráfico, que en ocasiones llegan a ser importantes.



Figura 6.9.1 A Cantera en explotación

- Desmante de la propia obra:

Algunos proyectos disponen los desmontes con el doble objetivo de generar superficies y utilizar los materiales obtenidos en la obra (figura 6.9.1 B). En este tipo de explotaciones se debe tener en consideración varios aspectos:



Figura 6.9.1 B Desmante de la propia obra

- Se planificará la obra teniendo en cuenta el breve plazo temporal disponible entre la ejecución del desmonte y la utilización de los materiales que se obtienen del mismo.
- La explotación se realizará de forma análoga a una cantera de nueva apertura.
- Se prestará especial atención al mantenimiento de las redes viarias en las distintas fases de explotación de los frentes y avance de la obra.

6.9.2 Materiales

Para elegir una cantera se comprobará que los materiales que se pueden extraer de la misma (figura 6.9.2) son los requeridos por la obra. En concreto se tendrá en cuenta:

- Que las características físico-químicas del material satisfacen las condiciones del Pliego. En particular, la densidad de la piedra que condiciona de forma importante la estabilidad de la escollera ante la acción del oleaje.
- Que se pueden obtener piedras de los tamaños y en las cantidades que la obra requiere. Para ello, se establecerán las necesidades temporales -semanas o meses- de los distintos tipos de materiales:
 - Escolleras de cada uno de los pesos.
 - Todo-uno de cantera.
 - Piedra para machacar.
 - Material para rellenos.
 - Tierra vegetal.



Figura 6.9.2 Material de cantera

Se diseñarán planes de voladuras, se elegirá el más adecuado para cubrir las necesidades y se hará una previsión en el tiempo de las cantidades que se pueden obtener de cada uno de los materiales anteriormente relacionados.

La comparación temporal entre la demanda de materiales y las cantidades que de cada uno de ellos se pueden obtener, permite:

- Optimizar la producción diseñando los planes de voladura más idóneos.
- Dimensionar los acopios.
- Acondicionar los vertederos para el material no apto.
- Planificar adecuadamente la obra, una vez conocido el Cronograma del suministro de los materiales.

El coste del material puesto en obra está condicionado por:

- El canon de cantera.
- El grado de aprovechamiento de los materiales extraídos, dada la repercusión de los materiales no utilizables en los costes.
- Las características orográficas de la cantera en la medida que condicionan la explotación.
- La existencia de edificios o instalaciones próximas que puedan condicionar los proyectos de voladuras.
- Las limitaciones al transporte, la distancia a la obra y el estado de la red viaria.
- Las dimensiones de la cantera por cuanto la explotación simultánea de varios frentes facilita optimizar la producción.

6.9.3 Explotación

El plan de explotación de una cantera (figuras 6.9.3 A,B,C y D) debe incluir los siguientes documentos:

- El proyecto de voladura, que es preceptivo y definirá:
 - Las alturas de los distintos frentes, las mallas, los diámetros de los barrenos, las cantidades y los tipos de explosivos y de detonadores, así como la secuencia de detonación.
 - Los elementos de protección ante las proyecciones.
 - El plan de medición de las vibraciones.
- La logística de los accesos a los distintos frentes de cantera.
- El plan de retirada de los materiales del frente de cantera, con indicación de su lugar de destino y la asignación de la maquinaria.

- El plan de estabilización de los frentes durante la explotación y al final de la misma.
- El plan de restauración de la cantera (figura 6.9.3 E) con la propuesta de integración en el paisaje, una vez finalizada la explotación.
- El plan de vigilancia del entorno de la zona de trabajos, preceptivo cuando se utilizan explosivos, con la implantación de sistemas que impidan la irrupción incontrolada de personas a la zona de los trabajos.



Figura 6.9.3 A Acceso a bancos



Figura 6.9.3 B Primer frente



Figura 6.9.3 C Segundo frente



Figura 6.9.3 D Estado final explotación



Figura 6.9.3 E Plan de restauración

6.9.4 Clasificación, carga, transporte y acopios

En las canteras con las voladuras se obtiene un material que se debe clasificar por tamaños para su utilización en las obras marítimas. La tipología más común es:

- Todo-uno de cantera. Se limita el porcentaje de las partículas menores y el tamaño máximo de las piedras.
- Escolleras. A los efectos de su clasificación, se agrupan en:
 - Escolleras de 1 kN a 3 kN.
 - Escolleras de 3 kN a 20 kN.
 - Escolleras mayores de 20 kN.

La clasificación del todo-uno y de las escolleras por tamaño se hace, en explotaciones de gran volumen, incorporando a la cantera unas instalaciones diseñadas *ad-hoc*.

En explotaciones de pequeño o mediano volumen, en las que no se justifican instalaciones de gran porte, la clasificación del material por tamaños se puede hacer de la siguiente forma:

- En el frente de la cantera las máquinas que realizan la carga separan las escolleras mayores de 20 kN y las sitúan en tantos pequeños acopios como tipos de escolleras se seleccionen (figura 6.9.4 A). Posteriormente, se cargarán y se transportarán a los acopios generales o a los lugares de utilización.
- Las mismas máquinas retiran las piedras de excesivo tamaño a un área para su taqueo, o hasta un acopio para su utilización en otros suministros.



Figura 6.9.4 A Acopio en cantera

- Con el auxilio de máquinas adaptadas al efecto, se retirarán las escolleras de peso entre 3 kN y 20 kN y se situarán en tantos pequeños acopios como tipos de escollera se seleccionen. Posteriormente, se cargarán y se transportarán a los acopios ó a los lugares de utilización.
- Una vez retiradas las escolleras, si es necesario eliminar los finos se cribará el material restante con carrileras (figura 6.9.4 B), máquinas cargadoras con el cazo perforado u otros procedimientos. Estos finos pueden ser aptos tanto para rellenos generales como para relleno de las celdas de los cajones.



Figura 6.9.4 B Carrilera

Los proyectos no siempre contemplan la utilización de la totalidad de los tamaños de piedra que se obtienen en la cantera. El material restante puede ser utilizado:

- Como materia prima en las plantas de machaqueo (figura 6.9.4 C).
- En protecciones provisionales, habitualmente no previstas en el Proyecto, que se deben diseñar utilizando este material restante.
- En otras obras.

La comprobación de las características del material -forma y peso- es conveniente realizarla en los pequeños acopios que se hacen en los frentes de cantera, eliminando en ese momento los materiales no adecuados. De esta forma se evita rechazar los materiales que ya han sido transportados y cuya retirada interfiere en los procesos de ejecución de la obra.

Los acopios se ubicarán en:

- La propia cantera.
- Las inmediaciones de las zonas de utilización de los materiales o en la proximidad del cargadero de gánguiles. Es recomendable utilizar extravías entre los acopios y las zonas de utilización.



Figura 6.9.4 C Planta de machaqueo

- En zonas situadas entre las canteras y la obra procurando que el aumento de la distancia a recorrer no sea grande.

Los acopios se deben estructurar atendiendo a los siguientes aspectos:

- Facilitar el tránsito de las máquinas.
- Garantizar que las superficies seleccionadas para los acopios tengan suficiente capacidad portante.
- Evitar la contaminación del material acopiado por el terreno natural.
- Asegurar una conveniente evacuación de las aguas pluviales.
- Tener adecuada conexión con la red viaria.
- Permitir la limpieza de los neumáticos de los camiones, evitando así depositar restos de material en las vías.
- Mantener la disponibilidad de las superficies durante todo el período de tiempo que se tengan que mantener los acopios.

6.10 TODO-UNO Y ESCOLLERAS EN MANTOS DE PROTECCIÓN

6.10.1 Definición

Los mantos de protección de los taludes sometidos a la acción de corrientes, de mareas y del oleaje están formados por todo-uno de cantera y escolleras, tanto naturales como artificiales, de granulometría definida (figura 6.10.1). Su finalidad es:

- Soportar las acciones del oleaje, las mareas y/o las corrientes, para lo que las piezas del manto exterior deben tener la forma y el peso adecuados.
- Cumplir la condición de filtro entre los terrenos que se protegen y la capa exterior del manto.
- Asegurar la estabilidad de los taludes proyectados, formando los mantos con materiales que, además de la granulometría adecuada, tengan un ángulo de rozamiento interno suficiente.

El manto exterior viene condicionado por las solicitaciones frente a las que se dispone la protección y los mantos intermedios por la condición que deben satisfacer de filtro entre dicho manto exterior y el terreno a proteger.

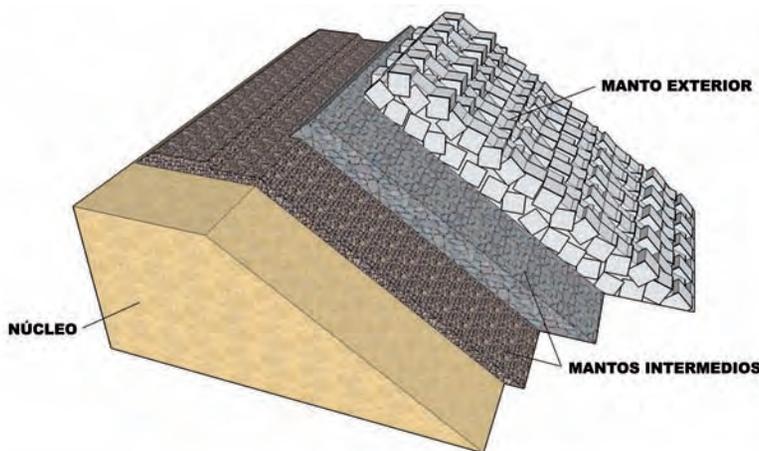


Figura 6.10.1 Mantos de protección

6.10.2 Colocación

La correcta colocación de los mantos de protección (figura 6.10.2 A) exige refinar los taludes a proteger, dejando su superficie de acuerdo con la tolerancia y con la pendiente prevista en el Proyecto.

Cuando el objeto principal del manto de protección sea la defensa de los márgenes de los ríos o rías de la acción de las corrientes se colocarán las escolleras de forma que su superficie externa sea lo más plana posible con la mínima rugosidad, para no disminuir la capacidad hidráulica del cauce.



Figura 6.10.2 A Secuencia constructiva

Cuando el objeto principal del manto sea soportar la acción del oleaje disipando la energía (figura 6.10.2 B), las piezas se colocarán evitando un acabado plano, es decir, sin “*carear*”.



Figura 6.10.2 B Manto de protección ante el oleaje

Entre las formas correctas de colocación de las distintas capas de los mantos de protección la más habitual es la siguiente:

- 1.º Se descarga el material con el que se forma la capa del manto de protección sobre la superficie de la plataforma del relleno, sin aproximarse al borde del talud para evitar los deslizamientos del material que pueden producir accidentes.
- 2.º Con una retroexcavadora de suficiente alcance se coloca el material del área ABCDF (figura 6.10.2 C) donde C, es el punto más alejado de B, que la máquina alcanza y CD es la línea del talud natural del material -en torno al 1,2:1 para materiales pétreos-.
- 3.º Se coloca el material en la zona CDE de las siguientes formas:
 - Cuando los calados y, por lo tanto, los volúmenes de material a colocar y la distancia a la que se sitúan son reducidos, la colocación puede hacerse con grúa y bandeja (figura 6.10.2 D).
 - Para grandes calados, los volúmenes de material y las distancias a las que se tienen que situar son grandes, la colocación se hace con el auxilio de equipos flotantes, gán-guil (figura 6.10.2 E) o pontona. Para mayores calados es frecuente la combinación de ambos procedimientos (grúa y equipos flotantes).
- 4.º Con la misma sistemática se colocan las capas sucesivas del manto (figuras 6.10.2 F, G y H).
- 5.º Finalmente, se coloca el material del borde superior externo del manto según la forma proyectada (figura 6.10.2 I).

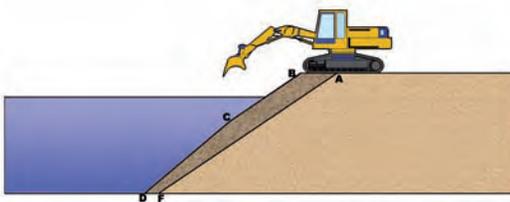


Figura 6.10.2 C Colocación con retroexcavadora

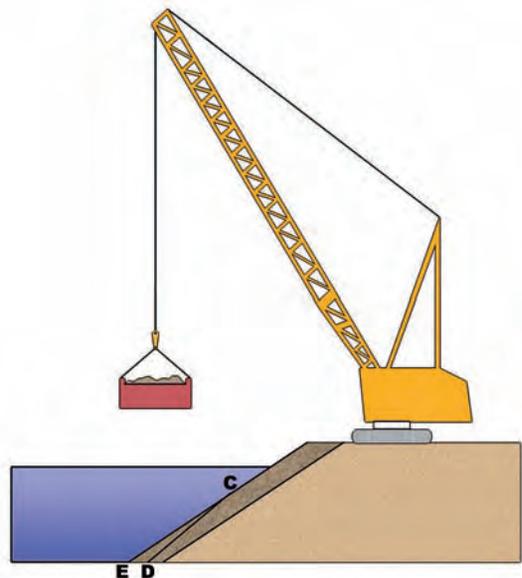


Figura 6.10.2 D Colocación con grúa Palma de Mallorca

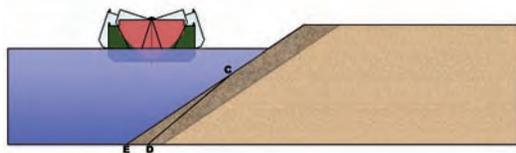


Figura 6.10.2 E Colocación con gánguila Palma de Mallorca



Figura 6.10.2 F Colocación con retroexcavadora segundo manto

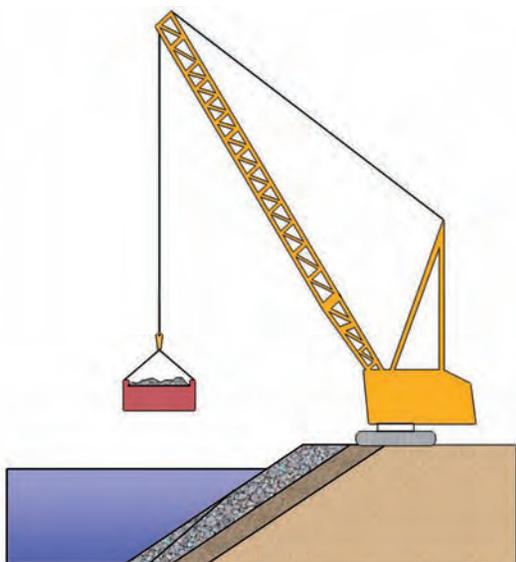


Figura 6.10.2 G Colocación con grúa segundo manto

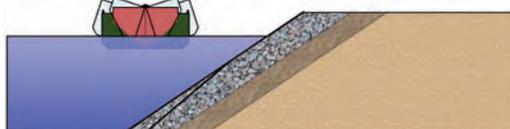


Figura 6.10.2 H Colocación con gánguila segundo manto

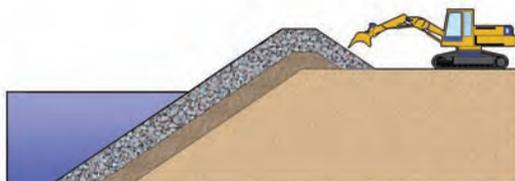


Figura 6.10.2 I Acabado mantos

- El desfase entre las distintas actividades será el mínimo posible y viene condicionado por:
 - El calado.
 - El tamaño de las máquinas y su rendimiento (figura 6.10.2 J).
 - La interferencia entre los distintos medios terrestres y/o marítimos.
- Se determinará la altura de ola significativa que cada una de las capas del manto (figura 6.10.2 K) puede soportar con un nivel de daño tolerable.
- Se establecerá un sistema de predicción del clima marítimo.
- Se redactará un procedimiento de protección de la obra en ejecución cuando se prevea la llegada de olas con altura significativa mayor a la establecida para el umbral de daños tolerables. En general, es conveniente mantener acopios de escollera en obra que permitan una rápida protección de los taludes ante la previsión de condiciones extremas.



Figura 6.10.2 J Dúmpfer transportando escollera



Figura 6.10.2 K Manto de escollera artificial

6.10.3 Tolerancia y comprobaciones

La tolerancia es la que fija el Pliego de Condiciones del Proyecto.

Para cada módulo de avance se harán comprobaciones geométricas mediante perfiles transversales después de terminar cada una de las capas y antes de iniciar la colocación de la siguiente. Como orden de magnitud la tolerancia en las capas de escolleras se sitúan en torno a $\pm 0,5$ veces la longitud de la diagonal de la cara del cubo equivalente.

Es conveniente una vez terminado el manto principal colocar hitos y referenciarlos topográficamente, así como realizar un reportaje fotográfico en el que estos hitos estén identificados al objeto de controlar los movimientos de las piezas después de los temporales.

Se archivarán los registros topográficos.

6.11 ESCOLLERAS ARTIFICIALES

6.11.1 Definición

Las escolleras artificiales son piezas prefabricadas de hormigón que sustituyen a las escolleras naturales por razón de tamaño o dificultad de obtención.

Existe una gran variedad de piezas de escolleras artificiales, muchas de ellas sometidas a patentes, que se pueden agrupar en:

- Piezas masivas, que resisten la acción del oleaje por su peso y están colocadas sin trabazón entre ellas como los bloques cúbicos, paralelepípedicos, antifer, etc.
- Piezas de formas complejas como los core-locs, los acrópodos, los tetrápodos, etc. (figuras 6.11.1 A, B, C y D), que se traban entre sí y que se deben colocar según una malla predeterminada.
- Piezas planas para proteger los márgenes de ríos y rías de la acción de las corrientes, con poca rugosidad para no reducir la capacidad hidráulica del cauce.



Figura 6.11.1 A Core-loc y Acrópodo II



Figura 6.11.1 B Acrópodo y Ecópodo



Figura 6.11.1 C Colocación Core-locs



Figura 6.11.1 D Manto de Tetrápodos

6.11.2 Fabricación

Los procesos de fabricación de las escolleras artificiales masivas se deben planificar a partir de las siguientes consideraciones:

- Los hormigones con los que se fabrican las piezas deben tener baja relación agua/cemento, consistencia seca y un tamaño máximo de los áridos tan grande como el Pliego admita. Estas características del hormigón condicionan la fabricación porque:
 - La puesta en obra debe hacerse por vertido directo desde camión hormigonera o “dumper”, por medio de cinta (figura 6.11.2 A), por tornillo sinfín o por cualquier otro sistema que permita la puesta en obra de hormigón con áridos de gran tamaño y consistencia seca.
 - Se requieren vibradores de gran potencia (figura 6.11.2 B).
- Para manipular y colocar las piezas una vez hormigonadas se respetarán los plazos temporales requeridos por el Pliego. Se mantendrán en ambiente que favorezca el proceso de curado.
- La planta de fabricación de hormigón debe tener una capacidad de producción de, al menos, vez y media de las necesidades. En períodos de fabricación largos -más de 6 meses- es recomendable que la capacidad de producción sea el doble de las necesidades.



Figura 6.11.2 A Hormigonado con cinta



Figura 6.11.2 B Vibradores

- El almacenamiento y el acopio de los materiales para hormigones:
 - En ocasiones son necesarias amplias zonas para acopiar áridos tanto a pie de planta como en zonas próximas. Su extensión viene determinada por las necesidades y las capacidades de suministro en el tiempo.

- Los silos de cemento tendrán capacidad para asegurar la alimentación continua de la planta, teniendo en cuenta la secuencia del suministro.
- Puede ser necesario construir un depósito para el agua cuando no esté garantizado el suministro por la red existente.
- La circulación de las máquinas que realizan:
 - El movimiento de los encofrados.
 - El hormigonado y el movimiento de cintas, camiones hormigonera, “dúmpers” y otros equipos.
 - La carga y el transporte de las piezas desde el lugar de fabricación a los acopios. Determinados elementos de elevación de las piezas requieren un espacio en torno a ellas para poder realizar las operaciones.
- Las cargas que se transmiten al terreno por:
 - Cimentaciones de las plantas de fabricación de hormigón, en especial, la cimentación de los silos de cemento.
 - Cimentaciones de los carriles de los pórticos y de los puentes-grúas.
 - Maniobras de grandes grúas móviles.
 - El acopio de las piezas realizado en altura, que puede transmitir al terreno cargas superiores a 0,3 MPa.
- La evacuación de las aguas superficiales, realizando las explanaciones con las pendientes adecuadas e instalando drenes y cunetas.
- La eliminación de los residuos y de las piezas rechazadas.
- Los plazos de disponibilidad de las superficies, donde se ubicarán las plantas y los acopios.
- Las características de los encofrados, el número de usos que se hace de los mismos, programando su mantenimiento y su posible restitución. A este respecto es interesante señalar que se están utilizando moldes troncocónicos (flaneras) que facilitan el despegue y retirada del encofrado sin necesidad de desunir las cuatro caras.
- Los plazos de fabricación.
- El tamaño de las piezas que puede requerir transportes especiales para su desplazamiento, en cuyo caso es aconsejable situar el parque en las proximidades del lugar de colocación o conectado a él por vías que permitan el transporte sin restricciones e, incluso, sin requerir permisos o escoltas.

En las figuras 6.11.2 C y D se observan dos parques de fabricación de escolleras artificiales masivas.

Los procesos de fabricación de escolleras artificiales de formas complejas se deben establecer atendiendo a las siguientes cuestiones:



Figura 6.11.2 C Parque de fabricación año 1947

Figura 6.11.2 D Parque de fabricación actual

- Los procedimientos de los diseñadores, habitualmente sujetos a patentes, que definen:
 - Los encofrados.
 - Las características del hormigón.
 - Las formas de hormigonar.
 - Las formas de encofrar y desencofrar.
 - La manipulación y el acopio de las piezas.
 - El proceso de curado.
 - La resistencia exigida al hormigón en las distintas fases.
- Aquellos condicionantes de tipo general que se han reseñado para las escolleras artificiales masivas.

Las escolleras artificiales para protección de márgenes de ríos y rías se construyen en factorías de prefabricados de hormigón puesto que:

- Generalmente su tipología es de hormigón con armaduras pasivas y/o activas.
- Su poco peso y sus dimensiones facilitan el transporte.
- Requieren pequeña superficie de acopio puesto que las piezas se pueden apilar en altura.

Para piezas de escolleras artificiales de peso ligero o medio puede ser interesante diseñar un parque de fabricación circular (figura 6.11.2 E) con el empleo, en ocasiones, de una grúa torre de gran capacidad de carga en el centro del mismo.

6.11.3 Manipulación y acopio

La manipulación de las escolleras artificiales masivas está condicionada por la forma de enganche para su elevación y por el tipo de grúa que se utilice (fija, móvil o puente-grúa). En el caso de manipular bloques, y con el fin de aprovechar la capacidad de la grúa se pueden



Figura 6.11.2 E Parque circular de fabricación de Tetrápodos

mover los bloques de dos en dos o de cuatro en cuatro, reduciendo considerablemente las operaciones a realizar.

Entre el gancho de la grúa y las piezas se instalan unos artilugios para poder elevarlas, entre ellos los más utilizados son:

- Grupos de eslingas o cadenas, que con grilletes o ganchos se conectan a unas “asas” que previamente se han instalado en las piezas de hormigón por distintos procedimientos:
 - Roscando unas piezas a modo de “asas” a unos casquillos embebidos en el hormigón. Una vez colocada la pieza de escollera se pueden recuperar las “asas”.
 - Cables metálicos y/o trozos de eslingas destrenzados anclados en la masa de hormigón.
 - Barras metálicas ancladas por adherencia al hormigón con la parte que sobresale rosca, para incorporar el “asa”, que después de la colocación se puede recuperar.
 - Bulones anclados mediante inyección de resina en alojamientos perforados en el bloque. Este procedimiento de bulones puede ser adecuado para manipular piezas que están en una posición que no permite el uso de otros sistemas, tal y como ocurre cuando hay que retirar bloques ya colocados carentes de elementos para su amarre.

Estos procedimientos de elevación se recomiendan cuando el número de piezas fabricadas es pequeño y cuando las piezas se coloquen de forma provisional para ser retiradas posteriormente. Además, permiten fabricar y/o colocar las piezas adosadas unas a otras.

- Cadenas, eslingas o bandas textiles de alta resistencia, que alojándose en unas hendiduras practicadas en las piezas de hormigón, las abrazan. Los extremos de estas cadenas, eslingas o bandas se conectan con grilletes a los sistemas de elevación:
 - Las operaciones son lentas.
 - Las inversiones necesarias son muy reducidas.
- Llaves con forma de T invertida, que se introducen en unos alojamientos dejados al efecto en las piezas y al girar se fijan o liberan:
 - Actúan sobre la cara superior de las piezas permitiendo adosarlas tanto en la fabricación como en la colocación.
 - La pieza debe estar apoyada sobre una superficie con pendientes inferiores al 15% para poder liberar o colocar una llave. Este sistema es adecuado para los bloques de guarda de las banquetas al pie de los cajones, ya que permiten adosar los bloques a la pared del cajón y entre sí y se puede liberar el enganche sin la necesidad de buceadores.
- Pinzas -mecanismos que sujetan las piezas por los laterales- que al ejercer una presión sobre ellas posibilitan su elevación por rozamiento:
 - Dos caras laterales opuestas de la pieza tienen que estar exentas tanto para la elevación como para la colocación.
 - Las operaciones son muy rápidas.
 - Necesita muy poca mano de obra.
 - El diseño y construcción de las pinzas para el parque de fabricación, los acopios y la colocación de las piezas es costoso. Se debe disponer, por lo menos, de una pinza de repuesto de cada tipo -las pinzas para la colocación de las piezas son más robustas que las usadas para la manipulación-.
 - El peso de las pinzas obliga a disponer de grúas con capacidad de carga suficiente para el peso conjunto de la pieza y de la pinza.
 - Existen una gran variedad de modelos de pinzas (figuras 6.11.3 A,B,C y D) y con alguna de ellas se pueden recuperar bloques ya colocados.

La manipulación de las piezas de forma compleja, se debe ajustar a los procedimientos y recomendaciones del diseñador en cuanto a:

- Resistencia mínima necesaria del hormigón.
- Puntos de enganche de la pieza.
- Sistemas de volteo cuando sean requeridos.

La manipulación de piezas planas, en ocasiones armadas o pretensadas, se debe hacer de forma que:

- Los esfuerzos en las piezas sean admisibles. Se definirán los puntos de sujeción y aquéllos donde pueden ser apoyadas.



Figura 6.11.3 A Pinza 1



Figura 6.11.3 B Pinza 2



Figura 6.11.3 C Pinza 3



Figura 6.11.3 D Pinza 4

- Puedan ser apiladas o colocadas en vertical.
- Se utilicen eslingas con ganchos que se sujetan a unas “asas”, recuperables o no, dispuestas en la pieza.

Para transportar las escolleras artificiales se tiene que considerar:

- El tamaño de las piezas y, en consecuencia, el de los equipos de transporte en tanto que:
 - Requieren un buen estado de las vías para evitar averías y conseguir buenos rendimientos, lo que se logra con una adecuada conservación.

- Los equipos de transporte se deben equipar para que las piezas se sitúen en el lugar correcto sobre los apoyos dispuestos, para evitar que se dañen.
- Las características de las vías -pendientes, radios de las curvas y anchura- limitan las condiciones del transporte de las piezas e influyen en el rendimiento. Se debe realizar un mantenimiento adecuado de los viales.

Para el diseño y preparación de los acopios (figura 6.11.3 E) se tendrá en cuenta:

- Las características del terreno relativas a:
 - La capacidad portante. Ésta será suficiente para soportar las cargas que transmiten las piezas, en general apiladas, y para permitir la operación de los equipos de carga y transporte.
 - La facilidad para adecuar la superficie, la nivelación y la evacuación de las aguas.
 - La conexión con el parque de fabricación y las zonas donde se colocarán las piezas.
- La distribución de los viales y las áreas de almacenamiento para optimizar la entrada, la descarga, la carga y la salida de las piezas, según el tipo y la antigüedad.
- Asegurar la disponibilidad de la superficie durante todo el tiempo necesario.



Figura 6.11.3 E Acopio

6.11.4 Colocación

La colocación de bloques con grúa se facilita instalando un lector GPS en el cable vertical y se ejecuta con:

- Buena información meteorológica.
- Avance con líneas a 45° en planta para ir abrigados.
- De menor a mayor ángulo vertical.
- De menor a mayor ángulo horizontal medido con respecto a la dirección de avance del dique, y la sección lo más terminada posible, con la menor distancia entre capas sin protección.

La secuencia de colocación de las piezas de escollera artificial (figura 6.11.4) es:

- 1.º Comprobar la geometría de la capa de escollera sobre la que asienta y, en su caso, rectificar la misma.
- 2.º Colocar las piezas a partir de una malla predeterminada y confeccionar un listado con las piezas a colocar con indicación del orden, el número de fabricación de cada pieza y las coordenadas del punto donde se debe situar.
- 3.º Introducir los datos en el programa informático para dirigir los movimientos robotizados de la grúa en la colocación de las piezas.



Figura 6.11.4 Colocación

Es recomendable estudiar la posición que deben ocupar las piezas antes de ser tomadas por la grúa, con objeto de optimizar los movimientos de la pluma de la grúa, sobre todo los de izar y arriar.

Se aconseja situar la pieza sobre el medio de transporte en una posición fija respecto de la grúa, lo que se consigue con unos topes para las ruedas. Ello permite robotizar los movimientos de la grúa para tomar la pieza, reduciendo el personal y el tiempo necesario para la operación.

Se deben cumplir estrictamente las especificaciones del proyectista de la pieza para su colocación. La rotura de una sola pieza compromete la estabilidad del conjunto, especialmente en el caso de manto monocapa.

Las piezas que requieren una trabazón entre ellas para soportar la acción del oleaje no están indicadas cuando se prevean asientos importantes.

6.12 FABRICACIÓN DE CAJONES DE HORMIGÓN ARMADO

6.12.1 Introducción

Los cajones de hormigón armado son piezas que se proyectan y se construyen para formar parte de la estructura de algunas obras marítimas. Se diseñan de forma que puedan permanecer a flote y navegar remolcados.

En los cajones se distinguen las siguientes partes:

- SOLERA: losa maciza de hormigón armado habitualmente de forma rectangular con espesor uniforme entre 0,40 m y 1,20 m.
- FUSTE: prisma recto con aligeramientos en toda su altura.
- ZAPATAS: zonas voladas de la solera respecto al fuste.

Existen dos tipologías habituales de cajones en cuanto a la forma de los aligeramientos o celdas siendo sus principales características dimensionales las siguientes:

- Cajones de celdas rectangulares (figura 6.12.1 A):
 - Espesor de la solera: 0,40 – 1,20 m.
 - Vuelo de las zapatas: menor de 1,50 m.
 - Espesor de las zapatas: generalmente se mantiene el mismo espesor que en la solera.
 - Separación entre tabiques: 3,50 – 4,50 m.
 - Espesor de las paredes exteriores: 0,40 – 0,60 m.
 - Espesor de los tabiques: 0,20 – 0,30 m.

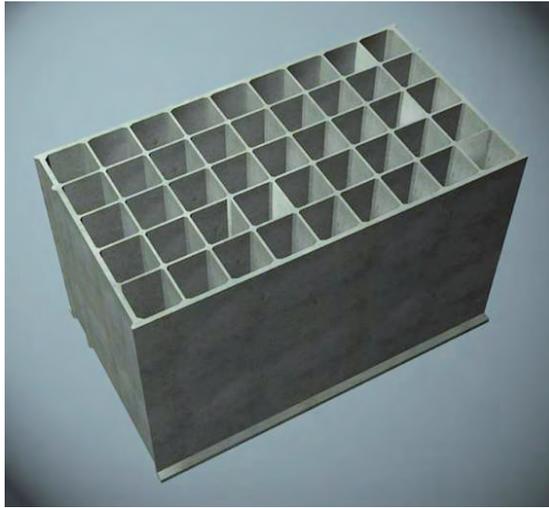


Figura 6.12.1 A Cajón de celdas rectangulares

- Cajones de celdas circulares (6.12.1 B):
 - Espesor de la solera: 0,40 – 1,00 m.
 - Vuelo de las zapatas: menor de 1,50 m.
 - Espesor de las zapatas: generalmente se mantiene el mismo espesor que en la solera.
 - Diámetro de las celdas: 2,50 – 3,80 m.
 - Espesor mínimo de hormigón entre celdas: 0,15 m.
 - Espesor mínimo del hormigón en las paredes exteriores excepto en el lado mar: 0,20 m.
 - Espesor mínimo de hormigón en la pared exterior lado mar: 0,40 m.

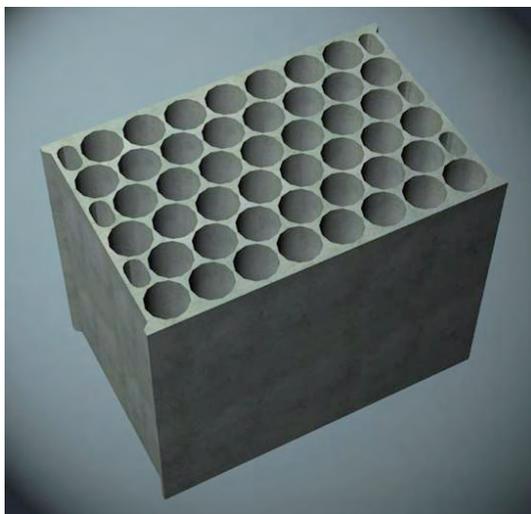


Figura 6.12.1 B Cajón de celdas circulares

El cajón con celdas rectangulares es menos masivo que el cajón con celdas circulares, por lo que para una misma geometría externa tiene un menor calado; por otra parte, el cajón de celdas rectangulares es una estructura donde los esfuerzos de flexión tienen mayor importancia.

Las dimensiones de los cajones vienen determinadas por los siguientes condicionantes:

- Condicionantes funcionales:

- Los esfuerzos que debe soportar el cajón como elemento estructural (empuje de tierras, tiro de bolardos, sobrecargas, acción del oleaje...) y la reacción del terreno de cimentación dimensionan la MANGA -anchura del cajón-.
- El calado requerido por las condiciones de servicio, el franco-bordo necesario para su instalación y el resguardo de altura para compensar los asentamientos, determinan el PUN-TAL -altura de cajón-.

- Condicionantes constructivos:

Las dimensiones del cajón pueden estar limitadas por:

- Las características de las infraestructuras donde se construyen (figura 6.12.1 C), esto es, por los calados de los muelles y de los canales de navegación.
- Las características de las instalaciones donde se construyen, que limitan la eslora, la manga y el puntal de los cajones.
- Las condiciones de clima marítimo para su remolque y fondeo: corrientes, oleaje, mareas, etc.
- La posibilidad de asentamientos diferenciales del cimiento. Los cajones de gran eslora no son adecuados en terrenos donde se prevean grandes asentamientos diferenciales.



Figura 6.12.1 C Fabricación de cajones

6.12.2 Equipos para la construcción de cajones

Habitualmente los cajones de hormigón armado se construyen en instalaciones flotantes o semi-flotantes, tales como:

- Diques flotantes.
- Catamaranes con plataforma sumergible.
- Pontonas sumergibles guiadas desde estructuras fijas.

Aunque también se pueden construir en:

- Diques secos.
- Instalaciones terrestres.

Las principales características de los equipos flotantes o semi-flotantes para la construcción de cajones se resumen a continuación:

DIQUES FLOTANTES

Se componen de una pontona metálica sobre la que van instaladas torretas (figura 6.12.2 A). Su configuración les permite realizar maniobras de inmersión o emersión mediante el lastrado y deslastrado de sus tanques, lo que posibilita realizar las operaciones de puesta a flote de estructuras construidas en su cubierta.



Figura 6.12.2 A Dique flotante

Los diques flotantes que están diseñados para construir cajones disponen de unos elementos específicos que permiten realizar dicha operación:

- Estructuras de soporte de los encofrados:

Son estructuras de celosía que se deslizan en sentido vertical por unas guías soldadas a las torretas del dique. El deslizamiento se produce por la acción de los gatos de trepado durante la fabricación del cajón o, en las maniobras en vacío, por la de unos cabrestantes situados en la parte alta de las torretas.

- Encofrados:

Están formados por chapas metálicas y conforman la sección horizontal del fuste del cajón. Los encofrados interiores de las celdas van unidos a los de las celdas contiguas y, en su caso, a los encofrados exteriores mediante unos yugos -piezas especiales que mantienen la separación entre los distintos paneles a la vez que confieren rigidez al conjunto-. Los yugos están suspendidos por cables de la estructura y son arrastrados por el movimiento de ésta (figura 6.12.2 B).



Figura 6.12.2 B Encofrados

- Equipo de deslizamiento:

Consiste en una serie de gatos hidráulicos que ascienden por unas barras metálicas dispuestas para tal fin mediante unas mordazas, arrastrando en su movimiento la estructura y el encofrado que cuelga de ella.

- Equipos de distribución del hormigón:

Están constituidos por un sistema de tuberías a través de las cuales circula el hormigón impulsado por bombas. Los tramos finales de las tuberías son flexibles y al ser movidos por unos plumines alcanzan la totalidad de la superficie del dique y permiten la puesta en obra del hormigón.

- Equipos de lastrado:

Realizan el llenado y vaciado de los tanques del dique para su inmersión y su emersión controladas. Las operaciones de lastrado y deslastrado se harán de acuerdo a un procedimiento que garantice que se mantienen dentro de límites adecuados:

- La estabilidad del conjunto dique-cajón en todas las fases constructivas.
- Las reacciones máxima y mínima del cajón sobre la pontona base.
- La profundidad máxima de inmersión de los tanques vacíos.
- El franco-bordo del cajón.

- Plataformas de trabajo:

Los diques disponen de plataformas de trabajo que acompañan al encofrado y a las que se puede acceder desde el muelle. Su finalidad es permitir el paso del personal y el acopio de materiales, en especial el acero de armaduras.

CATAMARÁN CON PLATAFORMA SUMERGIBLE

Consiste en un pórtico unido solidariamente a dos pontonas, entre las cuales hay una plataforma sumergible sobre la que se construye la solera del cajón y, a continuación, sobre ella el fuste (figura 6.12.2 C).



Figura 6.12.2 C Catamarán

Unos cabrestantes a bordo del catamarán accionan unos cables o cadenas que facilitan la emersión de la plataforma.

PONTONA SUMERGIBLE

Entre dos estructuras, en principio de gravedad, se coloca una pontona sumergible sobre la que se construye el cajón. La pontona va suspendida de las estructuras fijas a través de unos cables accionados por cabrestantes.

Se puede realizar la fabricación del cajón de forma que cuando tenga suficiente flotabilidad se separe de la pontona y se siga construyendo el fuste con el cajón a flote. Mientras un cajón se termina de construir a flote se inicia la construcción de la solera del siguiente cajón sobre la pontona.

DIQUE SECO

Sobre la solera de un dique seco se pueden construir cajones con mucha flexibilidad en la elección de los procesos constructivos. La inundación del dique permite poner a flote los cajones para transportarlos al lugar de ubicación.

Es poco habitual que se construyan cajones en dique seco por el elevado coste de los mismos y la limitación del calado.

INSTALACIONES TERRESTRES

Es posible construir los cajones en tierra y botarlos deslizándolos por una rampa. Este procedimiento puede ser adecuado cuando no se dispone de otra instalación.

También se pueden construir los cajones en tierra al borde de un muelle y ser cargados, transportados y colocados con grandes grúas flotantes; en determinados casos, se puede llegar a prescindir de la solera. Tienen una gran flexibilidad en cuanto a las formas y procesos constructivos.

A continuación se señalan una serie de cuestiones sobre los distintos equipos de fabricación de cajones a tener en cuenta:

- Dique flotantes:
 - Son transportables. Pueden navegar remolcados a una velocidad entre 2 y 3 nudos con altura de ola significativa no superior a 2 m.

- La preparación del equipo para su transporte requiere de un plazo comprendido entre 5 y 10 días.
 - El montaje del equipo del dique flotante se realiza en el puerto donde se construyen los cajones en un plazo comprendido entre 10 y 20 días.
 - El montaje de las instalaciones terrestres, del taller de elaboración de armaduras, de la planta de fabricación de hormigón, de las instalaciones generales, de la grúa torre, etc., suelen requerir plazos con duración de 1 a 3 meses. Estos montajes se pueden acometer con anterioridad a la llegada del dique.
 - La flexibilidad de los equipos para modificar las dimensiones de las celdas es limitada.
 - Las modificaciones de los encofrados para cambiar la eslora o la manga de los cajones -dentro de las capacidades del dique- demandan de 2 a 5 días.
 - La total adaptación de los equipos humanos al trabajo se consigue normalmente al terminar el tercer cajón. En efecto, el plazo de construcción del primer cajón suele ser de 1,5 a 2 veces superior al plazo medio alcanzado a partir del tercer cajón, mientras que el desfase en el segundo y tercer cajón se sitúa entre 1,2 y 1,5 veces.
 - Las dimensiones de los cajones -eslora, manga y puntal- a construir en los diques flotantes están limitados por las características de éstos.
- Catamarán con plataforma sumergible:
 - Son transportables. Se pueden remolcar a velocidad entre 2 nudos (1 m/s) y 3 nudos (1.5 m/s) con altura de ola significativa inferior a 2 m.
 - Tienen una rápida instalación.
 - No tienen limitación para el puntal del cajón a construir: sólo está limitado por el calado de la zona donde se construye.
 - Requieren trabajar en zona abrigada con $H_s < 0,40$ m.
 - Pontona sumergible guiada desde estructura fija:
 - Se diseña para una ubicación concreta.
 - Permite recrecer el cajón a flote por lo que no tiene limitación para el puntal. En este caso se requiere un doble juego de encofrados.
 - Para su diseño y construcción es necesario un plazo temporal dilatado (de varios meses).
 - Gran parte del coste de instalación no es recuperable.
 - Son instalaciones adecuadas para construir un elevado número de cajones.
 - Requieren trabajar en zona abrigada con $H_s < 0,40$ m.

6.12.3 Infraestructuras

Para construir cajones hay que disponer de infraestructuras adecuadas. En el caso de trabajar con equipos flotantes se requieren las siguientes infraestructuras (figura 6.12.3):

- Muelle, y en caso de no existir zona de cierre en talud de forma que el dique flotante se sitúe separado mediante una pontona intermedia.
- Espejo de agua.
- Zona para fondeos provisionales.
- Superficie terrestre.

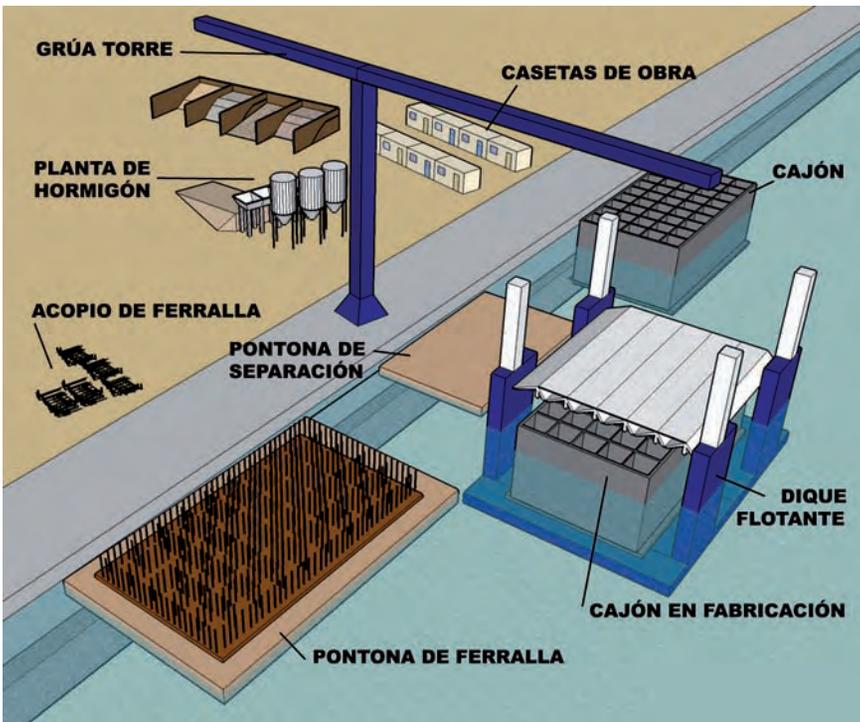


Figura 6.12.3 Infraestructura para fabricar cajones

Las principales características de estas infraestructuras son:

A. MUELLE

- Calado:
 - En la zona de botadura se debe disponer de un área superior a la que ocupa el dique con un calado no inferior a la suma de:
 - El calado del cajón con estabilidad naval suficiente.
 - El puntal de la pontona base del dique.
 - El resguardo de 1,00 m.
 - El calado en las zonas de navegación superará en 0,50 m al que tiene el cajón con estabilidad naval suficiente.

- Longitud del muelle:
 - Es recomendable disponer de una longitud de muelle que no sea inferior a la suma de:
 - La eslora del dique flotante.
 - La eslora del cajón.
 - El resguardo de 50 m.

B. ESPEJO DE AGUA

En ocasiones es necesario disponer de un área de espejo de agua junto a un muelle o separada de él para:

- Mantener a flote los cajones a la espera de que el hormigón adquiriera la resistencia necesaria para proceder a su transporte o fondeo.
- Preparar el cajón para su transporte.
- Preparar el cajón para su fondeo.
- Mantener los cajones a flote a la espera de las condiciones de clima marítimo que permitan su transporte y/o fondeo.

C. ZONA PARA FONDEOS PROVISIONALES

Cuando sea necesario disponer de zonas para el fondeo provisional de cajones, éstas se elegirán y/o adecuarán de forma que:

- El terreno sobre el que se apoyen los cajones tenga la suficiente capacidad portante y no se socave ante la acción del oleaje.
- La superficie de apoyo sea regular, o se pueda regularizar, para evitar esfuerzos puntuales.
- Los calados sean adecuados.
- No interfieran con la navegación.
- Tengan suficiente protección frente al oleaje.

D. SUPERFICIE EN TIERRA

Es necesario disponer de una superficie contigua a los muelles para utilizarla en la construcción de cajones. En casos extremos la anchura de esta superficie se puede reducir a 15 m aunque es conveniente que esté comprendida entre 50 m y 75 m. En todo caso, se dispondrá de superficie en las proximidades de los muelles para ubicar las instalaciones necesarias.

6.12.4 Instalaciones

Para la fabricación de cajones en equipos flotantes se requieren unas instalaciones auxiliares que se agrupan en:

A. INSTALACIONES GENERALES

- Red de suministro de agua:
 - Debe tener capacidad para la fabricación y, en su caso, para el curado del hormigón, limpieza y consumos del personal.
 - Cuando la red de suministro no garantice los caudales de punta necesarios se dispondrán depósitos reguladores.
- Instalación eléctrica:

Se instalará potencia suficiente para permitir el funcionamiento de:

- Equipos del Dique Flotante (sistemas hidráulicos, bombas, vibradores, compresores, cabrestantes, iluminación...).
- Planta de fabricación de hormigón.
- Bombas de hormigón.
- Taller de elaboración de armaduras.
- Grúa torre.
- Iluminación, oficinas, talleres, aseos, almacén, comedores, etc.

Se debe disponer de un sistema alternativo -grupo generador- que permita el accionamiento de los gatos de trepa y la iluminación de emergencia.

- Instalaciones para el personal y varios:

Se dimensionarán para el número de trabajadores del turno más numeroso. Estas instalaciones son las siguientes:

- Vestuarios.
- Comedor.
- Aseos.
- Oficinas.
- Almacén.
- Talleres.

B. INSTALACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN

La instalación para la fabricación de hormigón se dimensionará con una capacidad para elaborar el doble del hormigón necesario en las puntas de suministro del fuste.

Se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Dosificadora:

Dispondrá de tolvas para al menos cuatro tipos de áridos.

- Amasadora:

Es conveniente instalar dos amasadoras a fin de garantizar el suministro en el caso de que una de ellas sufra una avería.

- Silos de cemento:

Los silos de cemento tendrán capacidad suficiente para fabricar el hormigón necesario sin interrupciones por falta de suministro.

Es conveniente resaltar que, por una parte, la fabricación de cajones se realiza habitualmente de manera continuada -24 horas/día y 7 días/semana- y, por otra, que en algunos lugares el transporte está restringido en determinadas horas o fechas. Estas limitaciones deben ser tenidas en cuenta para determinar la capacidad de los silos.

- Acopios de áridos:
 - Se dispondrá de acopios de todos y cada uno de los áridos en cantidad suficiente para fabricar el volumen de hormigón que requiere un cajón.
 - Los niveles de acopio adecuados varían en función de las capacidades de suministro garantizadas por las plantas de fabricación de áridos y las necesidades previstas para elaboración del hormigón.
 - Los acopios estarán ubicados de forma que el transporte de los áridos a la planta de fabricación del hormigón se pueda realizar sin restricciones.

C. EQUIPOS PARA EL BOMBEO DEL HORMIGÓN

Se dimensionarán de forma que su capacidad real de bombeo de hormigón sea el 50% superior a la necesaria en las puntas de suministro. Es conveniente que las bombas estén situadas de forma que puedan ser alimentadas directamente desde las amasadoras con la finalidad de:

- Permitir que la puesta en obra del hormigón se realice dentro de un entorno temporal poco variable después del amasado.
- Evitar disgregaciones.
- Eliminar las posibles adiciones accidentales de agua al hormigón.
- Reducir los costes.



Figura 6.12.4 Conexión tubería bombeo

Se debe disponer de una bomba de repuesto o bien montar la instalación con más de una bomba de forma que la avería de una de ellas no obligue a suspender el suministro.

Al diseñar la instalación se tendrá en consideración que la planta de hormigón y la bomba están situadas en tierra y el punto de conexión con las tuberías de hormigón está instalado en el dique flotante, que al estar sometido a las oscilaciones de la marea y a la variación de cotas por la inmersión del dique requiere mecanismos adecuados de conexión (figura 6.12.4).

D. MEDIOS DE ELEVACIÓN DE CARGAS

Generalmente se utilizan grúas torre con capacidad de carga, alcance y gálibo adecuados. Su instalación se planificará con antelación ya que es necesario obtener permisos y, en ocasiones, construir sus cimentaciones.

6.12.5 Actuaciones previas al hormigonado

Con anterioridad al inicio de los trabajos de hormigonado de los cajones hay que realizar las siguientes comprobaciones y estudios:

- Estudios de estabilidad naval:
 - Se realizarán los estudios de estabilidad naval del conjunto dique-cajón en las distintas fases de construcción.
 - Se redactarán los procedimientos de los lastrados y deslastrados.
 - Se llevarán a cabo los estudios de estabilidad naval del cajón en botadura y en navegación.
- Comprobaciones batimétricas:

Se verificará que los calados en la zona de botadura, en el canal de navegación y en las áreas de fondeo provisional son los adecuados.

- Dosificaciones de hormigón:
 - Se establecerán dosificaciones de hormigón adaptadas a los distintos puntos de colocación -zapata o fuste- a distintas velocidades de deslizado y a distintas condiciones climatológicas (temperatura, viento, humedad, etc.). De esta forma se podrán utilizar hormigones cuyo endurecimiento se produzca en períodos distintos después del amasado para poder emplear en cada momento el más idóneo.
 - Se realizará la toma de muestras y ensayos de áridos, cemento, agua y aditivos que el Pliego prescriba.
- Encofrados: antes de iniciar el hormigonado se harán las siguientes comprobaciones de los encofrados:
 - Control dimensional, en particular la separación entre los paños que determinan el espesor de las paredes y la conicidad de los mismos.
 - Deformaciones, se verificará que no están deformados o deteriorados.
 - Limpieza.
- Armaduras (figura 6.12.5):
 - Se comprobará que los aceros empleados, los diámetros de las barras, la separación entre ellas, los recubrimientos y los solapes son los contemplados en el Proyecto.
 - Se dispondrá de un procedimiento que permita verificar la correcta colocación de las armaduras y sea lo suficientemente ágil para no interferir en el proceso de construcción de los cajones.

- Equipos e instalaciones:

De acuerdo con el protocolo que se habrá redactado se comprobará el funcionamiento de las distintas máquinas, equipos e instalaciones con las que se fabrican los cajones: sistemas hidráulicos, bombas de hormigón, equipos de lastrado, cabrestantes, compresores, vibradores, pasarelas, escalas, etc.



Figura 6.12.5 Armadura solera

6.12.6 Hormigonado

Los distintos equipos para la fabricación de cajones tienen procedimientos específicos de puesta en obra del hormigón. No obstante, se pueden realizar algunas consideraciones de tipo general:

- El tiempo transcurrido entre el amasado y la puesta en obra del hormigón debe ser lo más constante posible a lo largo del proceso.
- El espesor de las tongadas debe ser uniforme, nunca inferior a 10 cm, ni superior al 25% de la altura del encofrado que suele oscilar entre 1 m y 1,5 m.
- El desfase temporal entre dos tongadas no debe ser superior a 45 minutos.
- La limpieza del encofrado se debe realizar de forma continua puesto que las adherencias del hormigón fraguado pueden producir arrastres durante el deslizado.
- Los paramentos exteriores deben ser protegidos de las condiciones meteorológica extrema para conseguir un fraguado correcto (figura 6.12.6 A).
- El hormigón debe ser tratado cuando se produzcan discontinuidades en el hormigonado -siempre ocurre entre la solera y el fuste- para asegurar la correcta adherencia y la impermeabilidad de las juntas de trabajo. Esto último se puede lograr chorreando el hormigón con lanza de agua.
- Todos los elementos que se deban incorporar al cajón durante el hormigonado -ganchos de remolque, válvulas de lastrado, placas de anclaje, etc.- se dispondrán con suficiente antelación, se identificarán y llevarán su lugar de colocación claramente referenciados.

- Durante el deslizado, el encofrado se mantendrá lleno de hormigón cuando menos en los dos tercios de su altura (figura 6.12.6 B).



Figura 6.12.6 A Paramento del cajón



Figura 6.12.6 B Hormigón del fuste

En las siguientes figuras se esquematiza la secuencia de fabricación de un cajón en un dique flotante:

- Con el dique parcialmente sumergido se coloca bajo el encofrado la armadura de la solera a bordo de una pontona (figura 6.12.6 C).
- Se cuelga la armadura de la estructura del dique, se retira la pontona y se reflota el dique (figura 6.12.6 D).
- Hormigonado de la solera (6.12.6 E).
- Inicio del hormigonado del fuste con el dique a flote (6.12.6 F).
- Hormigonado del fuste con el dique parcialmente sumergido (6.12.6 G).

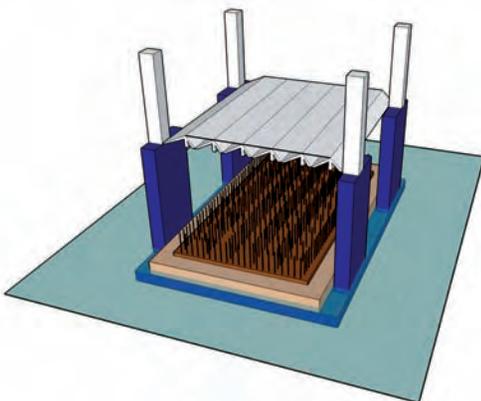


Figura 6.12.6 C Pontona con armadura solera

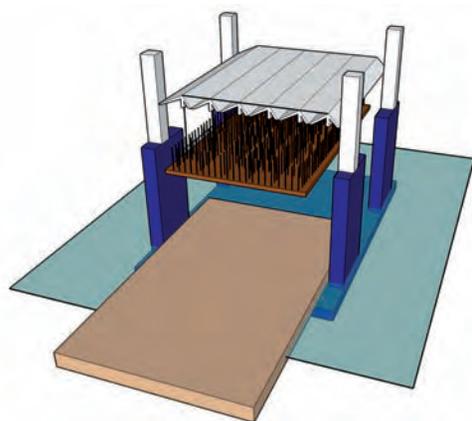


Figura 6.12.6 D Colocación armadura solera

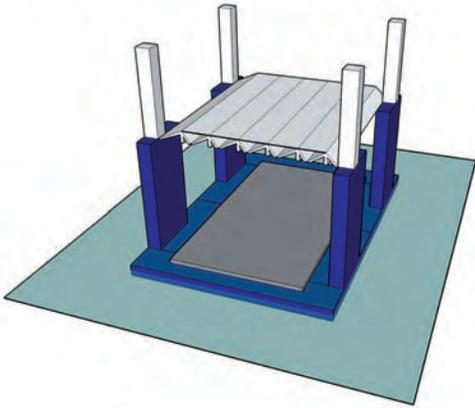


Figura 6.12.6 E Hormigonado solera

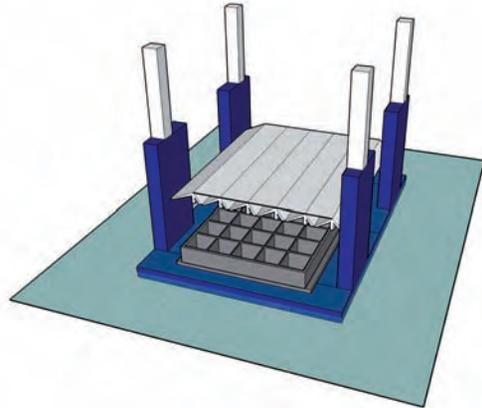


Figura 6.12.6 F Comienzo hormigonado del fuste

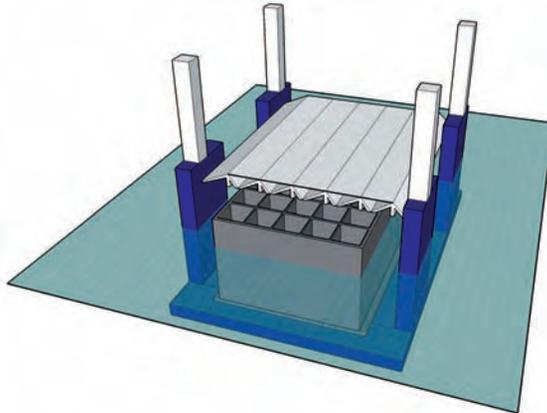


Figura 6.12.6 G Fase final hormigonado

El curado del hormigón se realiza directamente sumergiendo el cajón en el agua de mar. Este procedimiento no perjudica a las características resistentes ni a la durabilidad del hormigón estructural.

6.12.7 Botadura

La botadura del cajón se consigue con la inmersión del dique (figura 6.12.7 A y B). Es una operación, en ocasiones, crítica para la estabilidad naval del dique y del cajón.

Durante la inmersión y la emersión del dique es importante cumplir rigurosamente los procedimientos para evitar presiones inadmisibles en los tanques de lastrado y/o pérdidas de estabilidad.

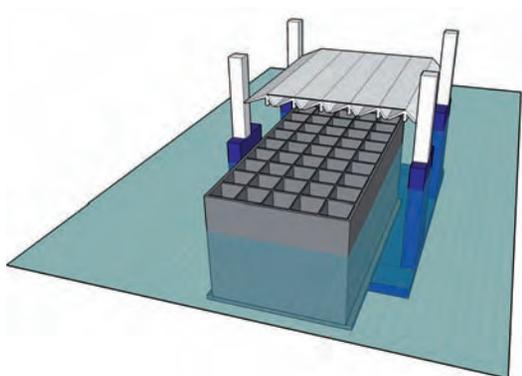


Figura 6.12.7 A Botadura del cajón



Figura 6.12.7 B Botadura del cajón

6.12.8 Preparación para el transporte

Una vez botados los cajones se preparan para su remolque (figura 6.12.8). Dependiendo de la distancia de transporte y del clima marítimo se requerirán las siguientes operaciones:

- Instalación de ganchos para remolque:
 - Se ubicarán de forma que queden emergidos durante el remolque.
 - Se dejarán previstos en su caso anclajes y/o alojamientos para cables o estachas de seguridad.
- Instalación de elementos de seguridad:

En su caso se colocarán los elementos de seguridad previstos, tales como:

- Redes para tapar las celdas.
- Cables para anclar cinturones de seguridad.
- Escalas para acceder al cajón.
- Pasillos.
- Balizamiento:

Las balizas, las baterías eléctricas y/o los grupos generadores se instalarán convenientemente anclados y en una posición a resguardo del oleaje.

- Bombas de achique:

En determinados transportes es necesario instalar bombas de achique para mantener el nivel de agua en el interior de las celdas. Estas bombas van dotadas de un sistema de arranque automático por el nivel del agua y son accionadas por unos generadores eléctricos.

- Tapas:

Será necesario tapar las celdas de los cajones cuando el Proyecto lo requiera, las Compañías de Seguro lo soliciten o las Autoridades Marítimas así lo exijan para otorgar los despachos.

En cualquier caso, se deben instalar tapas:

- En recorridos largos, con distancias mayores de 60 km.
- Con franco-bordo reducido, inferior a 3 veces la altura de ola significativa que pueda esperarse durante el transporte.

Las tapas deben ir unidas entre ellas y a la estructura del cajón para evitar la entrada de agua a las celdas.

Se han comportado de forma adecuada tapas proyectadas para soportar una sobrecarga de 0,01 MPa.

- Estanqueidad:

- Se asegurará la estanqueidad de las paredes exteriores del cajón.
- Se comprobará que no existen comunicaciones que no hayan sido previstas entre las celdas, por cuanto ello afecta a la estabilidad del cajón.



Figura 6.12.8 Remolque

6.12.9 Fondeos provisionales

Cuando se prevea la realización de fondeos provisionales (figura 6.12.9) se tendrá en consideración:

- Superficie de apoyo:
 - Tendrá suficiente capacidad portante.
 - Estará regularizada de forma que no provoque esfuerzos inadmisibles en el cajón.
 - El terreno de apoyo no será erosionable por la agitación que el oleaje al incidir sobre el cajón fondeado provoca en el fondo y, en caso necesario, se protegerá.
- Calado: será superior al calado del cajón con estabilidad naval suficiente.
- Clima marítimo: se verificará que el cajón fondeado provisionalmente es estable al hundimiento, al vuelco y al deslizamiento, así como que es resistente estructuralmente a las acciones del oleaje, a las mareas, a las corrientes y al viento.



Figura 6.12.9 Fondeo provisional

6.12.10 Instalación de equipos varios

En ocasiones los cajones incorporan aditamentos, como por ejemplo:

- Instrumentación para la medición de acciones y/o esfuerzos.
- Implantación de ánodos de sacrificio para reducir la oxidación del acero de las armaduras.
- Refuerzos para permitir la cimentación de estructuras y/o equipos.
- Posibilitar la instalación de tomas o vertidos de agua.

En estos casos durante la fabricación del cajón es conveniente incluir aquellos elementos como anclajes, refuerzos de armaduras, tuberías, etc. que faciliten las instalaciones posteriores.

Obras de abrigo

7.1 DIQUES EN TALUD

7.1.1 Definición

Los diques en talud o diques rompeolas son estructuras que se construyen en el mar para proporcionar abrigo a una zona determinada.

Están constituidos por escolleras naturales y/o artificiales de distintos tamaños y habitualmente por espaldones de hormigón.

Los elementos que constituyen la estructura de un dique en talud (figura 7.1.1) son:

- **NÚCLEO:** parte central del dique que soporta los mantos de escollera y posibilita su ejecución. Tiene que tolerar deformaciones y su permeabilidad será compatible con las condiciones hidrodinámicas contempladas en el Proyecto.
- **CAPA DE FILTRO:** parte intermedia de los diques en talud colocada sobre la parte exterior del núcleo. Habitualmente, está constituida por una o varias capas de escollera de tamaño creciente desde el núcleo hacia el exterior. La gradación de tamaños evita el paso de las partículas del núcleo hacia el exterior.
- **MANTO PRINCIPAL:** que va colocado sobre la capa externa del filtro. Está constituido por los elementos -escolleras naturales o artificiales- de mayor tamaño y su finalidad principal es resistir la acción del oleaje que actúa sobre él.
- **BANQUETA:** sirve de apoyo inferior al manto principal.
- **ESPALDÓN:** generalmente sobre la coronación del dique se dispone una estructura de hormigón con objeto de eliminar o reducir los rebases.
- **LOSA DE HORMIGÓN:** sirve como camino de rodadura y para proteger al núcleo frente a posibles rebases.
- **MANTO INTERIOR:** protege el talud interior del dique frente a la agitación y posibles rebases.

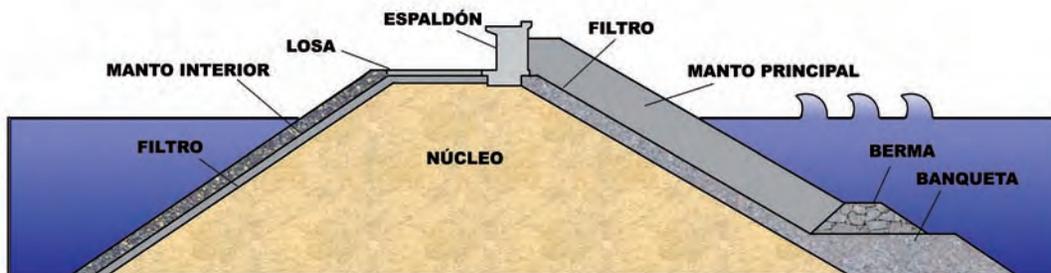


Figura 7.1.1 Sección dique en talud

Los diques deben ser estructuralmente estables en todas las fases de construcción. A tal fin, los procesos constructivos se diseñarán de forma que:

- LAS CARGAS SOBRE EL TERRENO sean compatibles con la capacidad portante del suelo.
- EL NIVEL DE DAÑOS PRODUCIDOS POR EL OLEAJE sea admisible.
- LOS TALUDES Y LA ALTURA DEL FREENTE DE VERTIDO DE MATERIAL en las distintas fases del avance aseguren la estabilidad al deslizamiento.

En los apartados siguientes se desarrollarán estas cuestiones con las consideraciones oportunas.

7.1.2 Cargas sobre el terreno

En ocasiones los suelos sobre los que se construyen los diques no tienen la capacidad portante suficiente para las cargas que el dique transmite. Para solventar este problema se puede(n) emplear alguna(s) de las siguientes alternativas:

- Eliminación de las capas superficiales de suelos inadecuados:
 - Se dragará el material hasta alcanzar las cotas y/o estratos previstos en el Proyecto.
 - Antes de colocar el material del dique se verificará que el fondo donde se apoya no haya tenido aterramientos.
- Tratamientos de mejora de suelos. Se han descrito en el apartado 6.3 *Mejora de terrenos*.
- Ejecución por fases. El dique se construirá con la siguiente secuencia:
 - 1.º Se draga, cuando esté previsto, el terreno no apto (figura 7.1.2.A).
 - 2.º Se coloca el material que constituye el dique hasta llegar a una cota de coronación pre-determinada (figura 7.1.2.B), transmitiendo al suelo unas cargas admisibles para éste.

- 3.º Se espera el tiempo necesario para que el suelo se consolide y aumente su capacidad portante por efecto de la carga que soporta.
- 4.º Se coloca el resto del material que constituye el dique (figuras 7.1.2 C y D), transmitiendo al terreno ya consolidado unas cargas que son admisibles.

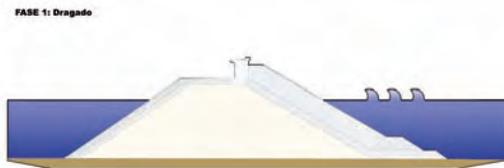


Figura 7.1.2 A Dragado

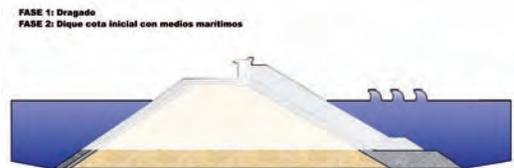


Figura 7.1.2 B Relleno con medios marítimos (1)

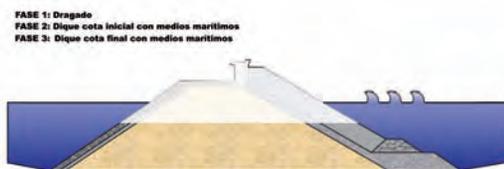


Figura 7.1.2 C Relleno con medios marítimos (2)

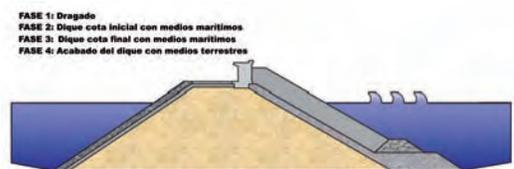


Figura 7.1.2 D Acabado dique

El tiempo que debe transcurrir entre una fase y la siguiente está condicionado a la obtención de los valores mínimos, contemplados en el Proyecto, para determinados parámetros que caracterizan al suelo -generalmente cohesión y ángulo de rozamiento interno-.

7.1.3 Prevención de daños producidos por el oleaje durante la construcción

Durante la construcción de un dique en talud hay zonas en las que el núcleo está sin proteger por la capa de filtro, y otras en las que no se ha colocado todavía el manto principal sobre la capa de filtro. Para poder planificar y construir adecuadamente un dique y, en particular, para determinar los desfases en la colocación de las distintas capas, se debe proceder de la siguiente forma:

- Verificar que la anchura y la cota de la coronación de la plataforma de avance considerada en el Proyecto son adecuadas al clima marítimo previsto para el período durante el que se va a construir y a los medios que se van a emplear.
- Estimar, para cada capa, la Hs que produce daños no admisibles.
- Determinar la Hs incidente sobre las distintas zonas del dique en construcción en función del avance del dique, por cuanto éste afecta a la propagación del oleaje (figura 7.1.3 A).

- Relacionar las alturas de ola incidente con las alturas de ola en el punto de registro -boya de la red de Puertos del Estado y/o boya instalada expresamente-.
- Obtener los períodos de excedencia de aquellas alturas de ola que producen daños no admisibles a los distintos mantos, de forma que se pueda planificar la construcción del dique determinando los desfases en la colocación de los mantos.
- Prever las alturas de ola incidente en las zonas sensibles del dique en construcción, mediante el control continuo de los registros de las boyas y de la previsión del comportamiento del oleaje en las mismas. Las previsiones realizadas con 72 horas tienen gran fiabilidad, sin embargo, esta fiabilidad es moderada en las previsiones realizadas con 7 días de antelación.
- Redactar procedimientos de actuación cuando se prevea la llegada de olas con una altura que pueda producir daños.
- Mantener acopios de escolleras de distintos tamaños para poder reforzar, de acuerdo con los procedimientos de actuación, los diques ante la previsión de los temporales.
- La combinación de altura de ola, nivel del mar y cota de coronación del dique puede producir rebases que dañen el trasdós de la estructura del dique y a las personas o los equipos que permanezcan sobre él (figura 7.1.3 B). Esta circunstancia exige disponer sistemas de alarma y protocolos de seguridad muy estrictos en la construcción de los diques.
- Construir morros de invernada cuando el plazo de ejecución del dique exceda de la duración de los períodos de calma. Para ello se tendrá en consideración:
 - Si los morros de invernada no han sido previstos en el Proyecto es necesario proyectarlos como obra provisional.
 - La retirada de los materiales de los morros de invernada es lenta y costosa, pero si no se retiran se crean zonas con permeabilidad distinta a la del resto del dique que pueden afectar a su funcionalidad.



Figura 7.1.3 A Avance de un dique en construcción



Figura 7.1.3 B Rebases durante la construcción de un dique

- El pie del manto principal de los morros de invernada se suele apoyar sobre una berma de todo-uno que debe coronar a profundidad suficiente para evitar su socavación y la consiguiente caída de las piezas del manto de protección.
- Durante la construcción las acciones del oleaje en el lado interior del dique pueden ser muy superiores a las que tendrá cuando esté construido. Si esta circunstancia no ha sido considerada en el Proyecto es necesario revisar la sección del dique y disponer de protecciones provisionales.

7.1.4 Taludes y alturas del frente de vertido

Los taludes, que de forma natural, adquieren los materiales con los que se construyen los diques, en ausencia de mareas y oleaje, son:

- Todo-uno entre 1,1:1 y 1,3:1
- Escolleras entre 1:1 y 1,25:1

Con los taludes naturales la estabilidad de los diques es precaria, y tanto más precaria cuanto mayor sea la altura del frente de vertido, por lo que ésta última se debe limitar. A título orientativo se recomienda limitar la altura equivalente del frente h_{eq} .

$$h_{eq} < 15 \text{ m}$$

$$h_{eq} = h_{em} + 0,75 h_{sum}$$

h_{eq} = Altura equivalente del frente

h_{em} = Altura emergida del frente

h_{sum} = Altura sumergida del frente

Para diques con alturas totales superiores a 18/20 m, además de los condicionantes reseñados, los volúmenes de material para avanzar cada metro del dique son muy importantes, por lo que es conveniente realizar el vertido del material en dos o más fases, de forma que la(s) primera(s) se lleven a cabo con medios marítimos y la última con vertido terrestre sobre la anterior.

7.1.5 Infraestructuras e instalaciones auxiliares

Para acometer la construcción de un dique en talud puede ser necesario disponer de infraestructuras e instalaciones auxiliares, tales como:

- Muelles auxiliares. En ellos atracan para su carga gánguiles, pontonas y embarcaciones auxiliares. En ocasiones, cuando no se dispone de muelles, es necesario proyectarlos y construirlos, lo que puede demandar plazos temporales muy prolongados. También puede

ser necesaria la construcción de obras de abrigo para estos muelles auxiliares construyendo realmente un puerto de servicio.

- Áreas para la instalación de parques de fabricación de escolleras artificiales.
- Superficies para acopio de todo-uno, escolleras naturales y artificiales.
- Caminos de acceso a los acopios, a los muelles auxiliares y al dique.
- Balizamiento de la zona de trabajo. Pueden requerir un proyecto de balizamiento aprobado por la Autoridad Marítima, el cual puede exigir su publicación por lo que se debe tramitar con antelación.
- Instalación de boyas para medir el oleaje y/o correntímetros.
- Instalación de barreras para evitar la contaminación y/o turbidez.
- Construcción de cargaderos para gánguiles (figura 7.1.5). En principio se dispondrán de forma que sobre cada gánguil puedan descargar simultáneamente, al menos, dos camiones. Para determinar el gálibo del cargadero se considerará:
 - La altura de la marea máxima.
 - El franco-bordo de las embarcaciones en lastre.
 - Un resguardo de 0,5 m.

Para determinar el calado del muelle en el que se instala el cargadero se considerará:

- La altura mínima de la marea.
- El calado de las embarcaciones a plena carga.
- Un resguardo de 1 m.



Figura 7.1.5 Cargadero gánguil

7.1.6 Actividades previas

Antes de iniciar la construcción del dique se realizarán, si son necesarias, las siguientes actividades:

- Reconocimientos batimétricos del área donde se asienta el dique y de las adyacentes que puedan ser afectadas por el mismo.
- Previsiones de los climas marítimo y de meteorología:
 - Previsión de dirección, período y altura de ola. En general es suficiente con las previsiones que facilita Puertos del Estado en su página Web (www.puertos.es) a partir de los registros de su red de boyas. En ocasiones puede ser necesario el establecimiento de boyas complementarias.
 - Previsiones de las direcciones y las velocidades de la corriente. Puede ser conveniente la instalación de correntímetros, especialmente en zonas con intensas corrientes.
 - Previsión de clima atmosférico y, en concreto, de la velocidad del viento. Se instalarán anemómetros cuando los procedimientos restrinjan algunas de las operaciones en función de la velocidad del viento.
- Análisis de la propagación del oleaje:
 - Para distintas situaciones de avance en la construcción del dique se relacionará, mediante estudios de propagación en modelo físico o matemático, el clima marítimo en las boyas de referencia -dirección, período y altura de ola- con el clima de las zonas más sensibles del dique -en principio la de avance y sus proximidades-.
 - Los estudios de propagación se complementarán con estudios de rebase para las distintas cotas de coronación del dique en las distintas fases constructivas.
- Determinación de los umbrales de riesgo de la siguiente forma:
 - Se calcularán las alturas de ola incidente que producen daños no tolerables a los distintos mantos que se construyen o que provocan rebases no tolerables.
 - Se relacionará la ola incidente -altura, período y dirección- con la ola en la boya de referencia.
- Establecimiento de un protocolo de actuación para los distintos umbrales de riesgo, que reflejará la siguiente información:
 - Refuerzo de los taludes.
 - Retirada del personal de las zonas de riesgo.
 - Retirada de la maquinaria sobre el dique.
 - Retirada de las embarcaciones y refugio en el puerto.

- Activación de alarmas. La previsión de que se superen los distintos umbrales de riesgo tiene que activar alarmas que alcancen a todas las personas afectadas o implicadas por el protocolo. Se establecerá un sistema de señalización por medio de carteles, barreras y/o señales acústicas que avisen al personal de la inminencia de situaciones de riesgo.

7.1.7 Materiales

En la construcción de diques se llegan a demandar cantidades muy importantes de materiales. Esto exige, de cara a la planificación de la obra, realizar una previsión de las necesidades de suministro diarias de cada uno de los tipos de material que se vaya a demandar como, por ejemplo, todo-uno, escolleras naturales o artificiales, hormigones para espaldones, etc. Para ello hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La disponibilidad de cantera. Imprescindible para construir el dique.
- La explotación de la(s) cantera(s).
- El transporte a la obra o al lugar de acopio.
- Los acopios en cantera(s), en obra o intermedios.
- Los medios de carga, transporte y colocación en obra, tanto terrestres como marítimos.

El control de las características de los materiales, para asegurar que se cumplen las especificaciones del Pliego, se efectuará sin interferir en los procesos productivos y, en principio, se debe realizar en origen, esto es, en las canteras, en las plantas y en los parques de fabricación.

7.1.8 Colocación del núcleo y de los mantos con medios marítimos

7.1.8.a Equipos marítimos para la colocación del núcleo y de los mantos

Los equipos marítimos que se pueden utilizar para colocar el material del núcleo y de los mantos se relacionan a continuación y presentan las siguientes características:

- Gánguiles con apertura de fondo (figuras 7.1.8.a A y B):
 - Las capacidades varían entre los 300/400 m³ para los de menor porte y más de 1.000 m³ para los mayores.
 - La amplitud de la apertura es también variable oscilando entre 1,5/2,0 m para los gánguiles de menor amplitud y 3/4 m para los de mayor apertura.
 - 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.
 - El calado a plena carga varía de unos modelos a otros oscilando entre 3,5 m y 4,5 m.
 - Habitualmente los gánguiles no admiten el impacto de escolleras de más de 5 kN con caídas superiores a 3 m, por lo que éstas se deben colocar en la cántara del gánguil

con máquinas cargadoras, en general palas o grúas. No obstante, hay equipos con las cántaras protegidas con defensas que admiten el impacto de escolleras de 20 kN con una caída desde 4 m de altura.

- Pueden trabajar con $H_s \leq 2$ m.



Figura 7.1.8.a A Gánguil con apertura de fondo *Figura 7.1.8.a B Escollera artificial en gánguil*

- Gánguiles de vertido lateral (figura 7.1.8.a C):
 - Tienen la cubierta sectorizada, por lo que pueden cargar materiales con distintas granulometrías y verterlos en distinto lugar.
 - Se cargan con el auxilio de palas o grúas.
 - Tienen gran precisión en la colocación.



Figura 7.1.8.a C Gánguil de vertido lateral

- Pontonas con grúa sobre cubierta (figura 7.1.8.a D):
 - Pueden ser autopropulsadas o remolcadas.
 - Se utilizan para transportar y colocar los materiales de los mantos y, en particular, los grandes bloques que por su tamaño no admiten los gánguiles así como aquellos elementos que deben ubicarse con mucha precisión.



Figura 7.1.8.a D Pontonas colocando escollera

7.1.8.b Elección de equipos

El número y la capacidad de las embarcaciones para colocar el material de los diques por mar se diseñará teniendo en cuenta:

- Los rendimientos que se pretendan obtener.
- La previsión temporal del trabajo por número de días en cada mes y de horas de cada día.
- Las distancias a recorrer.
- Las condiciones de clima marítimo en las que se prevea trabajar

Los gánguiles de vertido por fondo (figura 7.1.8.b) se elegirán de forma que los ciclos queden lo más cerrados posible combinando rendimientos, velocidad, capacidad de carga, distancia a recorrer y tiempos de carga y descarga.

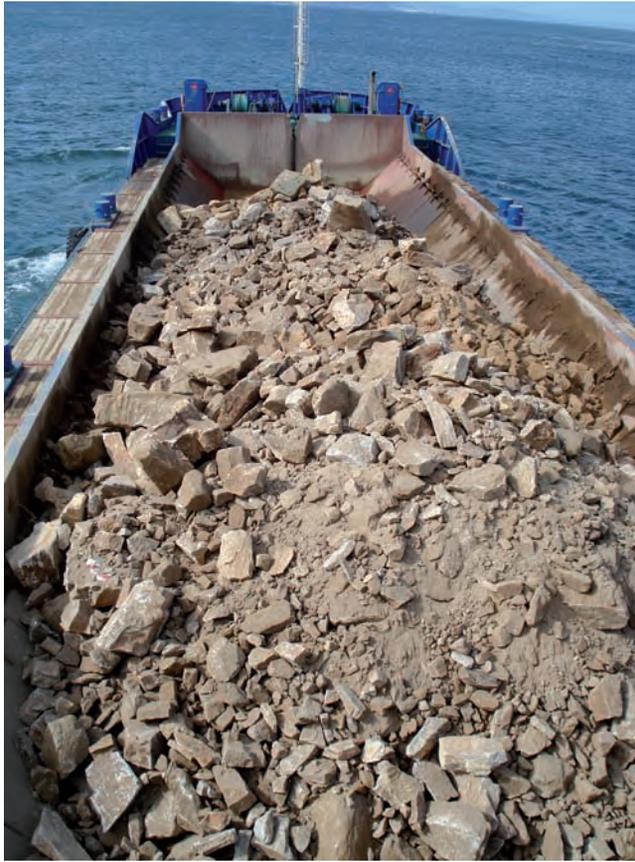


Figura 7.1.8.b Gánguil cargado

A modo de ejemplo la tabla 7.1.8.b representa el ciclo en horas correspondiente a un vertido con las siguientes características:

SUMINISTRO DE MATERIAL	500 t/h
VELOCIDAD MEDIA GÁNGUIL EN CARGA	4 NUDOS
DISTANCIA DE VERTIDO	8 MILLAS
TIEMPO DE POSICIONAMIENTO Y DESCARGA.....	0,4 HORAS
VELOCIDAD MEDIA GÁNGUIL EN LASTRE.....	5 NUDOS

De la tabla se deduce que se puede obtener un rendimiento teórico de 500 t/h con 3 gánguil-les con capacidad de carga no inferior a 1.000 t.

En vertidos bien dimensionados se pueden obtener rendimientos reales que oscilan entre el 70% y el 80% de los teóricos.

Horas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
GANGUIL 1																										
Carga	■	■	■				■	■	■	■			■	■	■				■	■	■					
Tte. Ida			■	■	■				■	■	■				■	■	■				■	■	■			
Descarga					■						■						■						■			
Tte. Vuelta						■	■					■	■					■	■					■	■	
GANGUIL 2																										
Carga			■	■	■				■	■	■				■	■	■				■	■	■			
Tte. Ida				■	■	■				■	■	■				■	■	■				■	■	■		
Descarga							■					■						■				■				
Tte. Vuelta								■	■				■	■					■	■				■	■	
GANGUIL 3																										
Carga					■	■	■				■	■	■				■	■	■					■	■	
Tte. Ida							■	■	■				■	■	■				■	■	■				■	■
Descarga									■							■						■				
Tte. Vuelta										■	■						■	■					■	■		

Tabla 7.1.8.b Ciclo de vertido

En ocasiones, es adecuado disponer de acopios en las proximidades del muelle de carga de los gánguiles para independizar, en cierta medida, el suministro del material y el funcionamiento de los gánguiles. El suministro del material puede estar sometido a restricciones horarias y el trabajo de los gánguiles está condicionado por el clima marítimo.

7.1.8.c Secuencia de colocación

Se estudiará para cada caso la secuencia de colocación, teniendo en consideración los aspectos que se detallan a continuación:

- La colocación se debe iniciar, necesariamente, por el núcleo.
- Es conveniente extender el núcleo en tongadas cuyos espesores no sean superiores a 5 m y proteger los taludes con los distintos mantos a la mayor brevedad posible. Se determinará, para las distintas profundidades, la(s) capa(s) de manto requerida(s) para proteger el núcleo de la acción del oleaje.

En función de la altura de ola a la que va a estar sometido, del tamaño de las partículas del material con el que se construye el núcleo y de la profundidad a la que se encuentra la coronación del mismo, puede ser necesaria la instalación de un manto de protección en la

superficie superior del núcleo, con la finalidad de estabilizar éste hasta que se complete la sección del dique con vertidos mediante medios terrestres.

- La colocación de los mantos de protección del núcleo se debe hacer a la mayor brevedad posible al objeto de:
 - Reducir la superficie del núcleo sometida a la agitación producida por el oleaje para disminuir los daños en caso de temporal.
 - Asegurar la estabilidad de los taludes.
 - Optimizar la utilización de los materiales procedentes de cantera para disminuir las cantidades de escollera que es necesario acopiar.

7.1.8.d Control de colocación

Tras los vertidos se realizarán controles batimétricos y en función de los resultados de los mismos se reconsiderarán, si fuese necesario, los planes de vertido.

Antes de colocar cada capa se comprobará que la anterior está dentro de tolerancias. Las dos características que condicionan la estabilidad de los diques en talud frente al oleaje son: las propiedades de las partículas (peso, forma y densidad) y el talud.

Se establecerán procedimientos para verificar:

- Las características físico-químicas de las escolleras naturales y artificiales que establezca el Pliego del Proyecto.
- La geometría de las capas -talud y espesor-.

Además, se evitará que los controles interfieran en los procesos constructivos.

7.1.9 Colocación del núcleo y de los mantos con medios terrestres

7.1.9.a Secciones de avance

Los diques (figura 7.1.9.a) se encuentran sometidos a las acciones del oleaje y durante su construcción existen partes de los mismos desprotegidas, que carecen de los mantos de protección en su totalidad y, por tanto, su capacidad para soportar la acción del oleaje es sensiblemente inferior a la que presenta el dique terminado.

La necesidad de trabajar en un escenario en el que el oleaje incida directamente sobre el núcleo puede obligar a que tanto las partes emergidas como las situadas en profundidades someras deban ser construidas en períodos de calma.

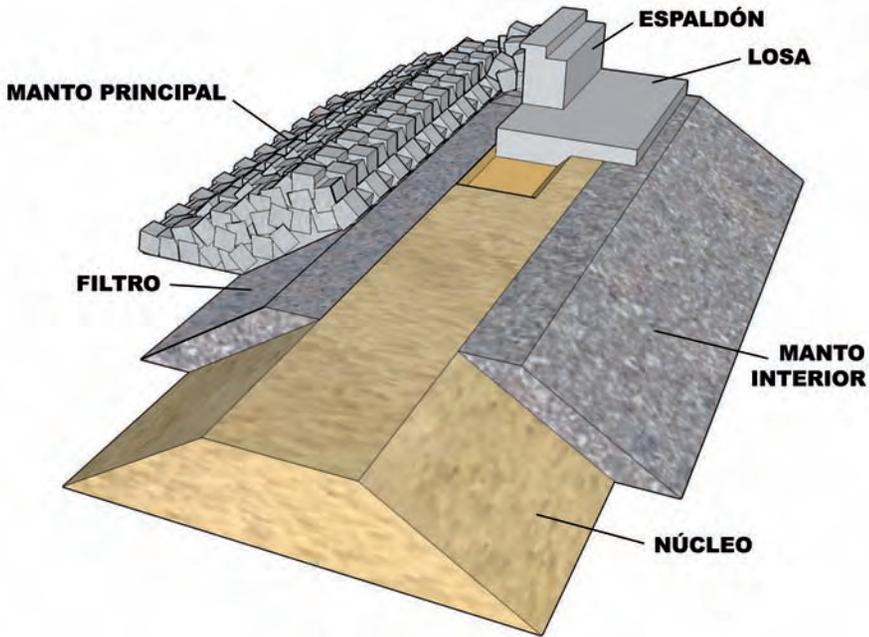


Figura 7.1.9.a Secuencia constructiva dique en talud

A efecto meramente orientativo, el siguiente ejemplo sirve para ofrecer un orden de magnitud de las cantidades de material necesarias: un dique con un núcleo coronado a la cota +6 m, con un ancho de 20 m, con taludes de 2:1 y en el que la zona más sensible al oleaje se encuentra por encima de la cota -6 m; por tanto, el dique tiene una sección en torno a 400 m² y requiere unas 750 t de material de núcleo para conseguir 1 m de avance.

Si el número de camiones que pueden acceder al frente de avance del dique con material para el núcleo se fija en 40 cada hora -coinciden con los que transportan escolleras y hormigones-, el límite del avance del dique se sitúa en 1 m/h para camiones de 20 t y en 4 m/h en el caso de que el transporte se realice con extravíaes.

De los datos anteriores se desprende que en una campaña de 100 días durante el período de calma, trabajando 12 horas diarias con una efectividad del 80%, se pueden llegar a construir entre 1.000 m y 4.000 m de dique con la sección que se está considerando, dependiendo de los equipos de transporte que se utilicen -camiones o extravíaes-. Las cantidades de material para el núcleo que se necesitan en uno u otro caso son de 7.500 t/día ó 30.000 t/día.

La cantidad de escolleras naturales y/o artificiales requerida para la protección del núcleo es muy variable en función de la sección tipo proyectada, si bien suelen representar entre el 25% y 50% del volumen del material del núcleo.

7.1.9.b Secuencia de colocación

La secuencia cronológica de colocación del núcleo y de los mantos de protección con medios terrestres es la siguiente:

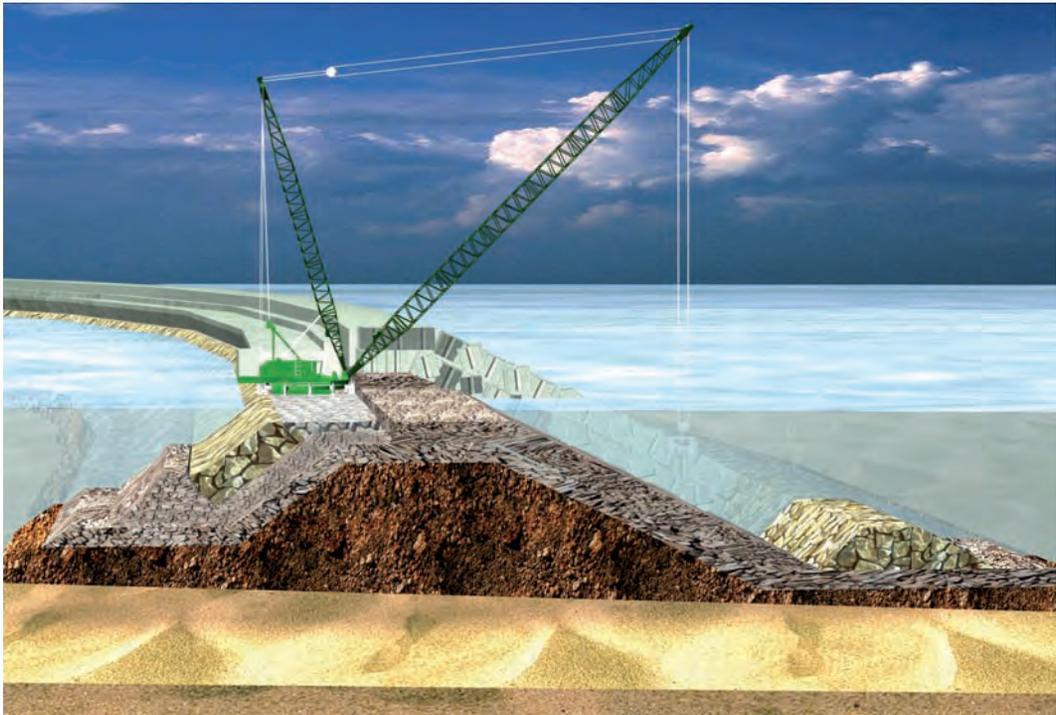


Figura 7.1.9.b Colocación de mantos

- 1.º Los camiones descargan el material del núcleo en la zona inmediata al frente de avance.
- 2.º Con un tractor o pala cargadora, se empuja el material que habitualmente queda colocado con un talud entre 1,1:1 y 1,3:1.
- 3.º Con una retroexcavadora se rectifican los taludes hasta conseguir, dentro del alcance de la máquina, los taludes del Proyecto.
- 4.º A continuación, las partes del talud que no han podido ser rectificadas con la retroexcavadora se completan colocando el material con una bandeja accionada por una grúa o vertiéndolo desde un gánguil.
- 5.º Tras comprobar la correcta colocación del núcleo se actúa de forma análoga con las siguientes capas del manto.

Las escolleras naturales o artificiales mayores de 30 kN se colocan de forma individualizada con grúa, la cual debe tener un sistema de posicionamiento por coordenadas. En el capítulo 6.11 *Escolleras Artificiales* se hace referencia a la forma de colocación. La separación entre las zonas de colocación de las distintas capas debe ser la menor posible, siendo conveniente que la distancia entre ellas no sea mayor que la longitud de dique que se construye en

2 días, de forma que en 7 días -período de tiempo que abarcan las previsiones sobre clima marítimo- el dique pueda quedar protegido.

7.1.10 Superestructura de Diques en Talud

7.1.10.a Introducción

Con mucha frecuencia la sección de los diques está formada en su parte superior por una losa y un espaldón, siendo sus principales funciones respectivas las siguientes:

- ESPALDÓN: evitar o limitar los rebases y servir de apoyo al manto de protección principal (figura 7.1.10.a).
- LOSA: sellar la superficie superior, evitando su colapso por acción de los rebases, así como actuar de soporte al pavimento y a las instalaciones.

7.1.10.b Ejecución

Los procesos de ejecución de la superestructura de los diques, que se desarrollan en el capítulo 9.2 *Espaldones de diques en talud*, varían de forma significativa en función de los aspectos siguientes:



Figura 7.1.10.a Espaldón de dique en talud

- El clima marítimo, puesto que la acción combinada de las mareas y el oleaje afecta a las fases constructivas. Puede ser conveniente construir la parte inferior del espaldón durante los períodos de calma y la parte superior, aquélla que se encuentra por encima de la acción de los oleajes esperables, en épocas de mayor agitación.
- El ancho de la plataforma (figura 7.1.10.b), ya que en ocasiones la construcción de losas y espaldones hay que compatibilizarla con el paso de los camiones que transportan el material al frente de avance.
- Los asientos del dique, dado que cuando los terrenos sobre los que se construyen los diques experimentan asentamientos significativos se debe tener en cuenta esta circunstancia e iniciar la construcción de losas y espaldones cuando los asentamientos remanentes sean admisibles.



Figura 7.1.10.b Ejecución del espaldón del dique

Durante la ejecución es necesario hacer una previsión de los posibles rebases y arbitrar un procedimiento de prevención instalando alarmas para retirar las personas y los equipos de las zonas con riesgo de rebase.

7.1.11 Instrumentación y control

Con independencia de lo que en materia de instrumentación determine el Proyecto, es conveniente:

- Referenciar geoméricamente puntos en la losa y en el espaldón con el siguiente criterio:
 - Una referencia al menos cada 100 m de espaldón y de losa.
 - En los cambios de sección y/o orientación.
- Referenciar geoméricamente puntos en las escolleras artificiales con el siguiente criterio:
 - Una referencia al menos cada 100 m de dique.
 - Una referencia en los cambios de sección y/o orientación.

Igualmente, es aconsejable realizar una filmación y un reportaje fotográfico del dique, tanto de la parte emergida como de la sumergida, donde se puedan identificar los puntos referenciados para en el futuro poder evaluar el efecto de los temporales.

7.2 DIQUES VERTICALES

7.2.1 Introducción

Los diques verticales están constituidos por una banquetta de escollera sobre la que se apoya una estructura de paramentos verticales, generalmente monolítica, realizada con cajones de hormigón armado (figura 7.2.1 A).

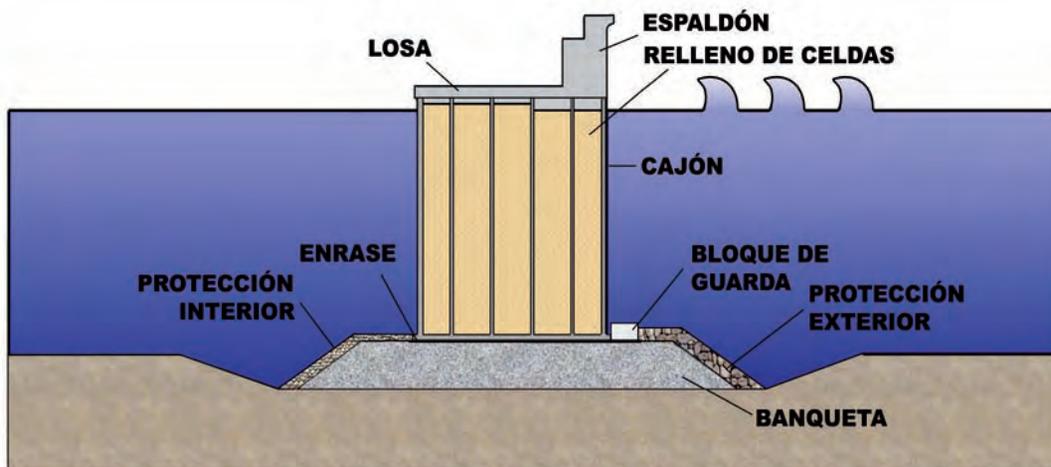


Figura 7.2.1 A Sección dique vertical

Las razones que llevan a construir diques verticales en lugar de diques en talud son:

- La reducción importante de la cantidad de material procedente de cantera, lo que permite:
 - Minimizar los impactos ambientales.
 - Disminuir la afección al entorno, esto es, en las instalaciones portuarias, a la población, en la red viaria, etc.
 - Ahorro de costes.
- La rapidez en la construcción.
- El buen comportamiento ante el oleaje en las fases constructivas.
- El permitir el atraque en el lado interior (figura 7.2.1 B).
- El que puedan ser desmantelados más fácilmente que los diques en talud.



Figura 7.2.1 B Dique-muelle de Málaga

Las limitaciones que presentan los diques verticales vienen impuestas por los siguientes motivos (aspectos que deben considerarse en la fase de proyecto):

- La rotura de la ola sobre paramentos verticales transmite a éstos unos esfuerzos muy importantes, lo que hace que los diques verticales son más adecuados para calados superiores a aquéllos en los que se produce la rotura de la ola.

- Reflejan la energía del oleaje de forma prácticamente total por lo que pueden comprometer la funcionalidad del canal de entrada, antepuerto y dársena como consecuencia de la agitación que produce la reflexión del oleaje. No obstante, se pueden diseñar diques verticales con una geometría que disminuya este efecto.
- Transmiten importantes cargas al terreno. En los diques verticales con cajones de gran puntal -por encima de 30 m-, los picos de la carga sobre la banqueta de cimentación superan 1 MPa.
- La necesidad de contar con “*ventanas*” para el fondeo de los cajones y posterior relleno.

7.2.2 Proceso constructivo

Para construir un dique vertical con cajones de hormigón armado se realizan todas o algunas de las siguientes actividades (figura 7.2.2):

- Dragado del terreno natural con objeto de eliminar suelos que no tengan la suficiente capacidad portante y/o mejora del terreno de cimentación.
- Colocación de la banqueta de cimentación, que permite:
 - Transmitir las cargas de los cajones al terreno.
 - Proporcionar una superficie regular para el apoyo de los cajones.
 - Limitar el puntal de los cajones en zonas de gran calado.
 - Evitar la socavación del terreno natural.
- Enrase de la superficie de la banqueta de cimentación.
- Fabricación y transporte de los cajones.
- Fondeo de los cajones.
- Relleno de las celdas y de las juntas.
- Manto de protección de la banqueta de cimentación y colocación de los bloques de guarda.
- Espaldón y superestructura.

Aunque gran parte de estas actividades ya han sido descritas en capítulos anteriores, por su importancia se recomienda incidir sobre los aspectos complementarios señalados a continuación.

7.2.3 Dragado del terreno natural

El dragado del terreno natural se realiza para eliminar suelos que no tengan capacidad portante suficiente para recibir las cargas que la banqueta transmite, para lo que se procederá de la siguiente forma:

- Se dragará hasta alcanzar los terrenos con suficiente capacidad portante.

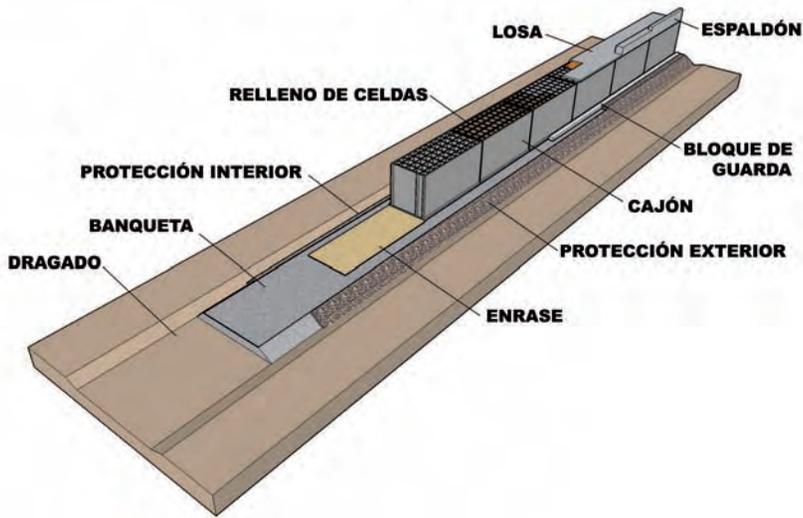


Figura 7.2.2 Secuencia constructiva dique vertical

- Se asegurará que no se han producido aterramientos sobre la zona dragada inmediatamente antes de verter el material de la banqueta de cimentación.

7.2.4 Mejora del terreno de cimentación

La mejora del terreno de cimentación se ejecutará de acuerdo al Proyecto. Antes de iniciar la construcción de la banqueta de cimentación se verificará que no se han producido aterramientos sobre el terreno tratado y que, por tanto, no se ha formado sobre él ninguna capa de material que pueda afectar a las características resistentes del conjunto.

7.2.5 Colocación de la banqueta de cimentación

En primer lugar, se coloca el núcleo de la banqueta, generalmente vertiéndolo desde gánguiles de apertura por fondo. El núcleo debe ser homogéneo -todo-uno de cantera o escollera- y cumplir estrictamente las condiciones del Pliego del Proyecto en lo referente a las características físico-químicas del material, granulometría y geometría -anchura de la banqueta y taludes-. A continuación, se debe colocar la escollera de los mantos de protección de los taludes de la banqueta de cimentación que no interfieran con el enrase de la cara superior, el fondeo de los cajones y la colocación de los bloques de guarda.

7.2.6 Enrase de la banqueta de cimentación

Son de aplicación las consideraciones realizadas en el apartado 6.8 *Enrase de banqueta para cimentación de las estructuras*.

El enrase de la banqueta se planificará de forma que se limite el plazo temporal durante el que está expuesto a los temporales.

Antes de fondear el cajón, se comprobará que el enrase está en buenas condiciones. Es frecuente que la acción de oleajes moderados provoque alteraciones de la superficie de la banqueta, especialmente en la zona contigua al último cajón fondeado.

El enrase inadecuado, por defecto de construcción o acciones del oleaje o corrientes, puede provocar la rotura del cajón que se fondea; rotura que se produce con mayor probabilidad durante el proceso de llenado de las celdas.

Cuando el fondeo de los cajones se realice en dos campañas distintas es recomendable que el enrase se ejecute también en dos campañas para que no esté sometido a la acción de los temporales. En todo caso, se verificará su estado antes de iniciar la nueva campaña y se rectificarán las irregularidades geométricas producidas por aportes o pérdidas de material.

7.2.7 Transporte de los cajones

Los cajones fabricados, según el proceso descrito en el apartado 6.12 *Fabricación de cajones de hormigón armado*, tienen que ser remolcados desde el lugar de fabricación al lugar de fondeo. Ello exige tener presente las siguientes consideraciones:

- Los cajones que forman parte de diques verticales están expuestos a la acción del oleaje desde que son fondeados, por lo que su fondeo no se realizará hasta que el hormigón haya adquirido la resistencia necesaria, respetando los plazos que el Pliego del Proyecto exija entre la fabricación y el fondeo.
- Los transportes de los cajones a grandes distancias requieren:
 - Estudio del remolque.
 - Obtención de permisos para el remolque, descrito en el apartado 6.12 *Fabricación de cajones de hormigón armado*.
 - Realización del remolque contemplando puertos o zonas de abrigo en el caso de temporal cuando la duración del transporte exceda del tiempo para el que se dispone de previsiones del clima marítimo.
 - Colocación de tapas.
- Zonas abrigadas donde resguardar los cajones si fuera necesario en las proximidades del lugar de fondeo. Se debe tener en cuenta que el cajón transportado por un remolcador a través de un cable de remolque -habitualmente con una longitud entre 500 m y 1.000 m- tiene que ser transferido al equipo de fondeo, lo que no se puede realizar con $H_s > 1$ m.

7.2.8 Fondeo de los cajones

El fondeo es la operación para apoyar el cajón sobre la banqueta de cimentación con la precisión requerida por el Proyecto y se realiza inundando de manera controlada las celdas mientras se mantiene el cajón a flote (figura 7.2.8 A).

Los cajones que se utilizan para construir diques verticales pueden alcanzar grandes dimensiones (esloras hasta 67 m, mangas superiores a 30 m, puntales hasta 35 m) y presentan grandes superficies 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.

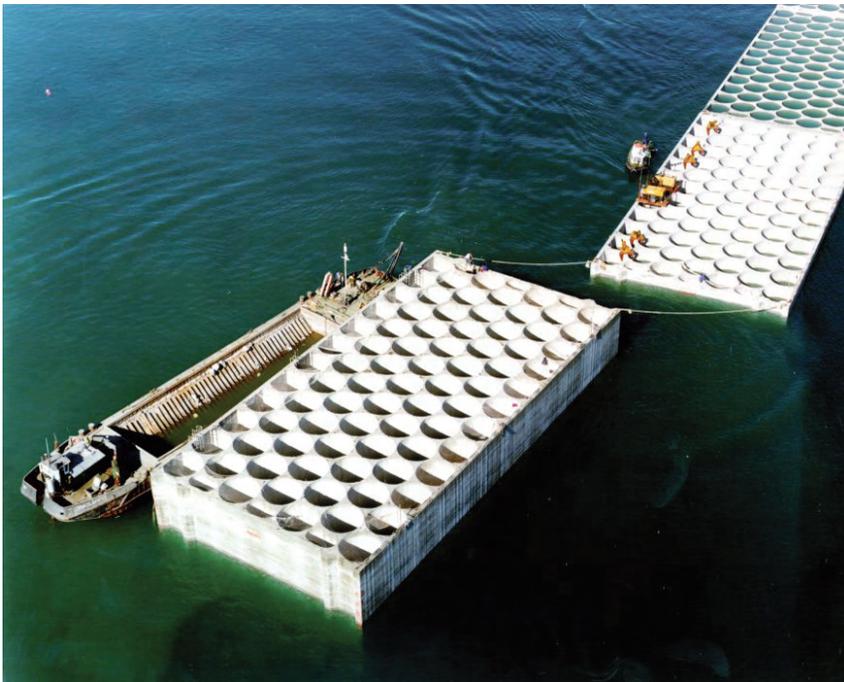


Figura 7.2.8 A Fondeo con mar en calma

Las acciones que hay que acometer para fondear los cajones son las siguientes:

- Diseño del procedimiento de fondeo:
 - Estudio de la transferencia del cajón desde el remolque de altura a las embarcaciones que realizarán el fondeo. Incluirá la retirada de los elementos que han servido para el remolque de altura (cables de remolque, balizas, generadores...), la colocación de los nuevos elementos de amarre y la apertura, retirada o demolición de tapas y/o lonas impermeables, y colocación de la red superior de seguridad.

- Determinación de la situación y del tipo de los elementos de amarre a instalar en el cajón para fondearlo, en principio cabrestantes hidráulicos.
- Análisis de las comunicaciones existentes entre celdas y/o de la necesidad de establecerlas.
- Lastrado; secuencia de llenado; número, características y situación de las bombas; tiempo de las operaciones y ubicación de las válvulas para el lastrado rápido una vez que el cajón está correctamente apoyado.
- La situación y las características de los anclajes en el fondo marino sobre los cajones ya fondeados o en otras zonas emergidas.
- Las características, situación y formas de colocación y retirada de las defensas que, en su caso, sea necesario colocar para evitar daños en los testeros de los cajones.
- Los elementos de seguridad, plataformas, pasarelas, candeleros quitamiedos, luminarias, escalas, etc.
- Los procedimientos de actuación ante posibles emergencias. Formas de comunicarse con remolcadores, Prácticos del Puerto, Capitanía Marítima, Salvamente Marítimo, Autoridad Portuaria, centros sanitarios, cámara de descompresión, etc.
- Afecciones a terceros. Definición de las derrotas en coordinación con la Capitanía Marítima, restricciones a la navegación; limitación de la velocidad de los buques cuya estela pueda afectar al fondeo.

- Comprobaciones previas:

Antes de iniciar la operación de fondeo se comprobará que:

- Los esfuerzos que se producen en los cajones en las distintas fases de lastrado son admisibles.
- La superficie de la banqueta está convenientemente enrasada y que no se han producido socavaciones ni aterramientos. La comprobación se hará visualmente con buzos o con el auxilio de cámaras submarinas.
- No existen plásticos, maderas o restos de encofrado bajo la solera del cajón que puedan modificar el coeficiente de rozamiento cajón/banqueta.
- La orientación del cajón es la correcta. Algunas veces los cajones no son simétricos, y requieren ser colocados en una determinada posición.

- Previsión del clima:

Antes del fondeo de cada cajón se consultará la previsión del clima marítimo para asegurar que las condiciones que se registrarán durante el mismo son admisibles. Concretamente se pondrá especial interés en lo referente a:

- Oleaje en el área de fondeo -período, dirección y altura de ola-, en las doce horas que puede durar un fondeo. Se debe tener en cuenta que la parte de dique vertical ya construida influye de forma muy importante en la agitación en las zonas adyacentes.

- Velocidad y dirección del viento.
- Nieblas.
- Velocidad y dirección de la corriente.
- Altura de la marea. Las bajantes ayudan a acelerar el proceso de fondeo.

A título orientativo se puede considerar que:

- Velocidades del viento superiores a 5 m/s dificultan la operación de fondeo. 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. Puede ser conveniente instalar correntímetros para su medición, variando su posición a medida que avanza la construcción del dique. La propia estructura del dique en construcción puede modificar las direcciones y velocidades de las corrientes.
- Oleaje. Alturas de ola significativa mayores de 1 m y/o períodos superiores a 8 segundos disminuyen la precisión con la que se puede hacer el fondeo, y con altura de ola significativa mayor de 1,5 m y/o períodos superiores a 10 segundos los cajones no se pueden fondear.

Por otra parte, determinadas direcciones del oleaje hacen que éste provoque la formación de una ola que recorre el paramento al incidir sobre el dique. Cuando esta ola corredera se desplaza hacia la zona donde se debe fondear, la operación se dificulta de manera extraordinaria.

- Altura de la marea. Las fases y altura de la marea influyen en la velocidad de hundimiento del cajón durante el fondeo y su franco-bordo al tocar fondo. Durante todo el proceso de fondeo el franco-bordo debe ser suficiente para garantizar que no entra agua por acción del oleaje que provocaría el hundimiento incontrolado.

- Instalación de elementos auxiliares:

Una vez fondeado el cajón se procederá a desmontar los elementos auxiliares empleados -cabrestantes, escalas, plataformas, pasarelas, grupos hidráulicos, generadores eléctricos, etc.-. Se revisarán y se instalarán en el siguiente cajón.

La planificación adecuada de estas operaciones reduce el número de equipos necesarios. La forma de realizar estos trabajos está muy condicionada por la disponibilidad ó no de muelles.

- Instalación de los anclajes:

Las anclas o bloques de hormigón a los que se sujetan los cabrestantes, cuando es necesario, deben ser instalados con suficiente antelación y contruidos, en el caso de los bloques, al menos un mes antes de su colocación.

Los anclajes deben ir provistos de un orinque (cabo que une y sujeta una boya al ancla), de forma que el enganche y el desenganche de los cabrestantes se haga al terminal del cabo que soporta la boya sin necesidad del concurso de buzos.

- Maniobra de fondeo:

La situación del cajón durante el fondeo (figura 7.2.8 B) se determinará a partir de las coordenadas de cuatro hitos situados en las esquinas del cajón, esta operación puede ser monitorizada. Los movimientos de los cabrestantes permiten situar el cajón en planta.

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 y el aquaplanning.

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.

- Operaciones finales:

Una vez completado el llenado de las celdas se deben realizar las siguientes operaciones:

- Referenciar topográficamente las cuatro esquinas del cajón, y comprobar que el mismo está dentro de tolerancias.



Figura 7.2.8.B Preparación fondeo

- Retirar los elementos auxiliares de fondeo.
- Colocar el balizamiento en el nuevo cajón que pasa a ser el extremo del dique en construcción.
- Cerrar las válvulas de lastrado para facilitar un eventual reflote del cajón en caso necesario.
- Verificar visualmente con el auxilio de buzos o equipos de filmación la correcta situación de apoyo en la banqueta del cajón fondeado, así como la conservación de la distancia mínima de separación entre las paredes que conforman la junta entre el cajón fondeado y el anterior.

7.2.9 Relleno de celdas y juntas

En las bases de partida del Proyecto y en el Pliego se habrán fijado los siguientes términos:

- Las características del material con el que se rellenan las celdas.
- Las características del material para el relleno de juntas.
- La diferencia máxima entre la altura alcanzada por el relleno en dos celdas contiguas.
- La Hs máxima admisible cuando el cajón tiene las celdas llenas de agua. En cajones que forman parte de diques verticales se deben comprobar, entre otros, los siguientes estados de sollicitación:
 - Estabilidad al vuelco y al deslizamiento del cajón con el nivel máximo de marea y altura de ola considerados.
 - Estabilidad estructural de las paredes del cajón ante la acción del oleaje.



Figura 7.2.9 Relleno de celdas

De no estar contemplado en el Proyecto se determinará la altura de ola crítica para que el cajón fondeado relleno de agua, mantenga unas condiciones de seguridad aceptables. Los cajones deben fondearse cuando se prevea una “*ventana*”, con previsiones fiables de Hs menor que la crítica, suficiente en tiempo para efectuar el relleno de las celdas y el sellado de la parte superior de las mismas.

En cuanto a las secuencia de llenado de celdas (figura 7.2.9) y de juntas con material es de aplicación el apartado 6.5 *Relleno de celdas de cajones*.

7.2.10 Manto de protección de la banquetta. Bloques de guarda

Los cajones fondeados modifican las condiciones hidráulicas del entorno, pudiendo producir aumentos de la agitación en las zonas de banquetta 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 banquetta.

Es conveniente utilizar una forma de enganche de los bloques que permita colocarlos adosados al cajón y entre ellos y poder liberarlos una vez estén situados sin requerir la concurrencia de buzos.

Tras colocar los bloques de guarda se deben completar de inmediato los mantos de protección de la banquetta.

7.2.11 Espaldón. Superestructura

La construcción del espaldón y la superestructura de los diques verticales, que se desarrolla en el capítulo 9.3 *Espaldones de diques verticales* y 9.4 *Viga cantil en muelles de gravedad*, debe planificarse de forma rigurosa considerando los aspectos siguientes:

- El reducido espacio disponible (figura 7.2.11 A) donde pueden coincidir:
 - Camiones que transportan el relleno de celdas.
 - Grúas para la colocación de bloques de guarda y escolleras de banquetta.
 - Encofrados y equipos para el hormigonado de losas.
 - Encofrados y equipos para el hormigonado de las distintas fases del espaldón.
 - Encofrados y elementos para el hormigonado de la viga cantil.
 - Zonas del dique utilizadas ocasionalmente como muelles auxiliares.
- La acción del mar (figura 7.2.11 B). La combinación de las mareas y el oleaje provoca rebases que impiden el trabajo, pueden dañar las obras en ejecución y poner en riesgo la integridad de las personas y de los equipos.



Figura 7.2.11 A Construcción espaldón Figura 7.2.11 B Acción del mar

7.2.12 Secuencia de colocación

En la tabla 7.2.12 se refleja las consideraciones que atañen a las diferentes actividades:

DRAGADO	Alcanzar estratos competentes.
	Controlar y eliminar aterramientos.
BANQUETA	Material homogéneo. Granulometría. Evitar exceso de finos.
	Geometría. No sobrepasar las cotas de Proyecto. Compensar asientos previstos. Mantos de protección colocados de inmediato.
ENRASE	Material homogéneo. Evitar socavaciones y aterramientos. Comprobar y verificar, si es necesario, antes de fondear los cajones.
FONDEO	Previsiones de clima marítimo para todo el proceso.
	Balizamiento. Elementos de seguridad. Comprobación visual del estado final. Hitos, referencias topográficas.
RELLENO DE CELDAS Y JUNTAS	Inmediato tras el fondeo. Secuencia de llenado de celdas. Control de asientos.
BLOQUES GUARDA	Inmediato tras el relleno de celdas y juntas. Sistema de enganche que permita adosar bloques y prescindir de buzos.
PROTECCIÓN BANQUETA	Finalizarla a la mayor brevedad.
ESPALDÓN Y SUPERESTRUCTURA	Rigurosa planificación.

Tabla 7.2.12 Diques verticales. Resumen de actividades

Muelles

8.1 MUELLES DE GRAVEDAD

8.1.1 Muelles de cajones

8.1.1.a Introducción

Estos muelles están constituidos por un muro formado por cajones (figuras 8.1.1.a A), apoyado sobre una banqueta, con peso suficiente para soportar los empujes de los rellenos que actúan sobre su trasdós. En la figura 8.1.1.a.B se identifican los elementos más característicos de este tipo de muelles. Transmiten a la banqueta de cimentación cargas que en punta pueden alcanzar 0,7 MPa.



Figura 8.1.1.a A Muelle de cajones

La banqueta de cimentación de los cajones tiene por objeto:

- Proporcionar la suficiente capacidad portante.
- Soportar las cargas que el muelle le transmite con deformaciones admisibles.
- Asegurar la estabilidad del terreno ante la agitación producida por las hélices de los buques para evitar socavaciones.
- Proporcionar una superficie regular sobre la que se asientan los cajones.

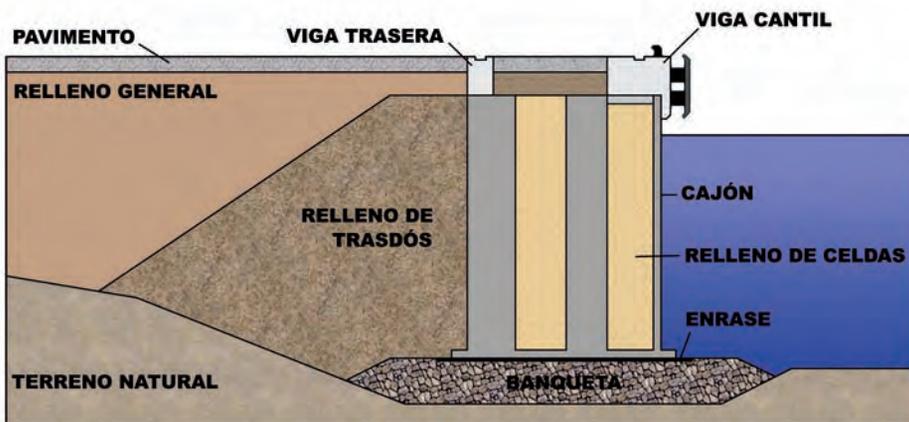


Figura 8.1.1.a B Sección muelle de cajones

Las actividades que se realizan en la construcción de un muelle de cajones son todas o algunas de las siguientes (figura 8.1.1.a C):

- Dragado de la zanja para la banqueta de cimentación.
- Mejora del terreno de cimentación.
- Banqueta de cimentación.
- Enrase de la banqueta.
- Fabricación y transporte de los cajones.
- Fondeo de los cajones.
- Relleno de las celdas y de las juntas.
- Relleno de trasdós.
- Colocación de filtro.
- Rellenos generales.
- Superestructura.
- Pavimento.

En la figura 8.1.1.a D se muestran las fases más habituales en la construcción de un muelle de cajones.

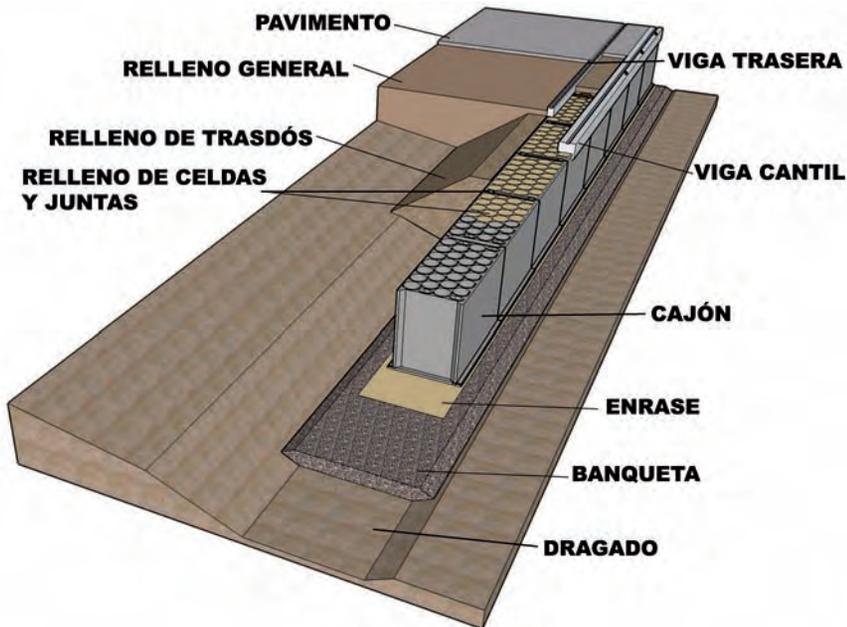


Figura 8.1.1.a C Secuencia constructiva muelle de cajones

A continuación se hacen unas consideraciones sobre estas actividades, muchas de las cuales ya han sido analizadas en los capítulos anteriores.

8.1.1.b Dragado en zanja del terreno natural

El dragado del terreno natural puede realizarse por dos razones:

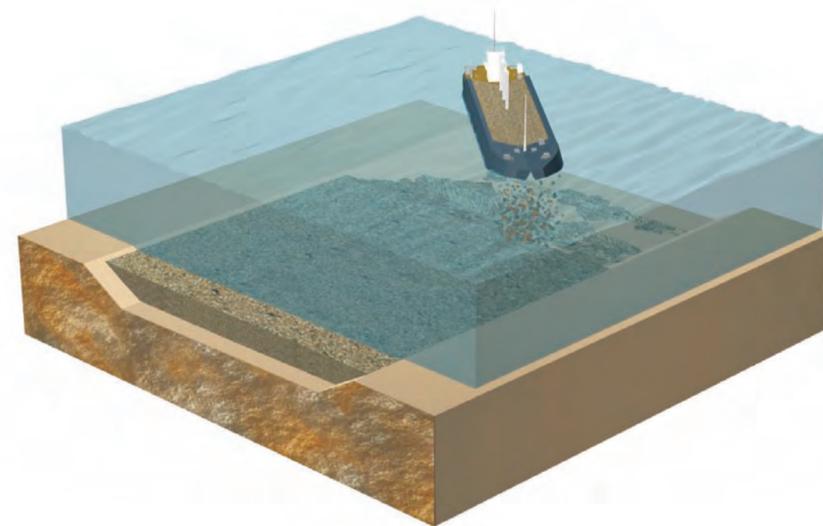
- Para obtener calado suficiente.
- Eliminar suelos que no tengan capacidad portante suficiente para recibir las cargas que la banqueta transmite. En este caso se dragará hasta la profundidad prevista en el Proyecto o, si es mayor, a la necesaria para asegurar que el terreno natural tiene la capacidad portante prevista.
- Se asegurará, inmediatamente antes de verter el material de la banqueta de cimentación, que no se han producido aterramientos, debidos fundamentalmente a la rotura de los taludes cuando éstos no son los adecuados.

8.1.1.c Mejora del terreno de cimentación

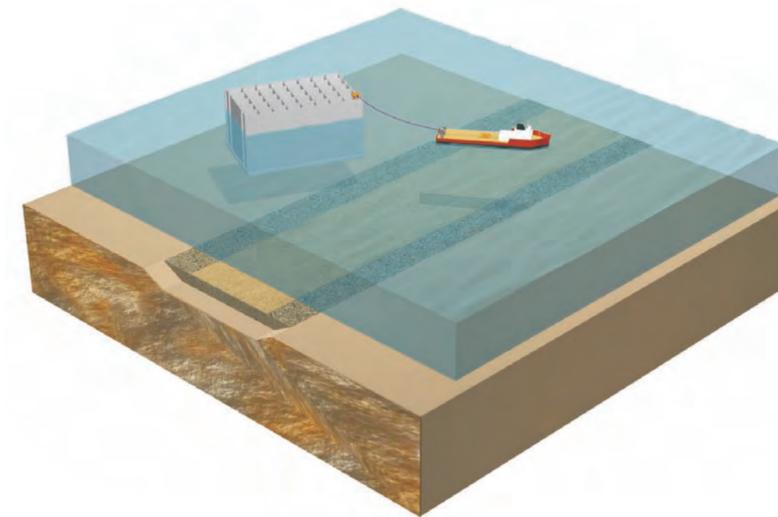
Es de aplicación lo expuesto en el capítulo 6.3 Mejora de terrenos.

Ejemplo de construcción de un muelle de cajones

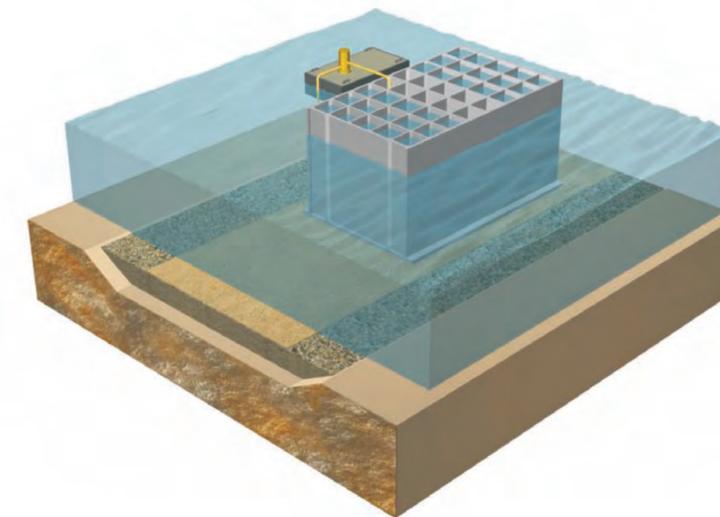
Figura 8.1.1.a D



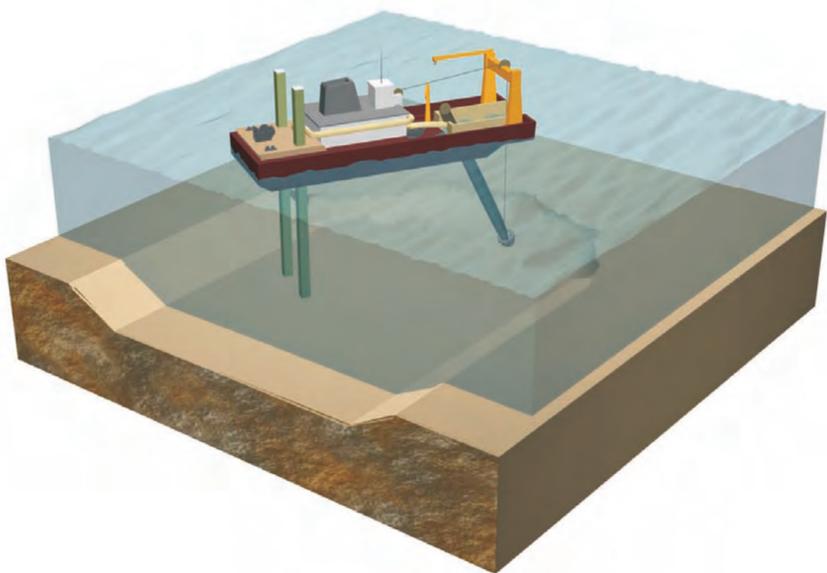
FASE 2. Vertido de escollera



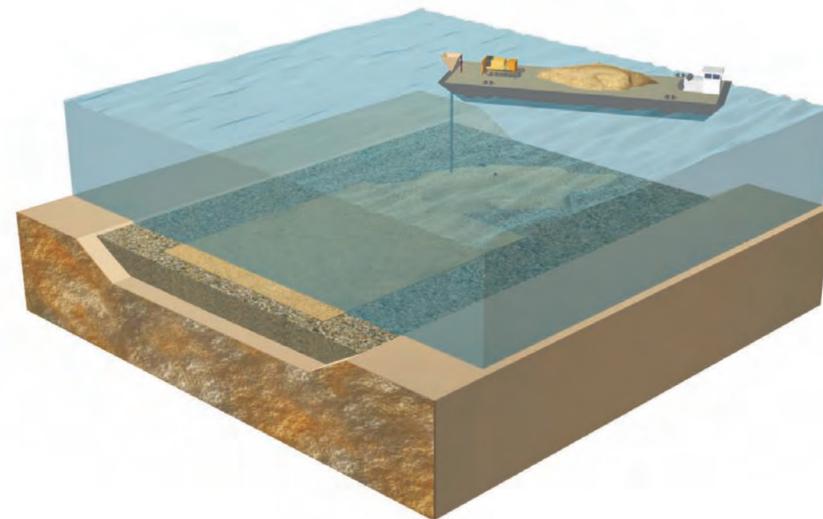
FASE 4.a. Remolque del cajón a su lugar de fondeo



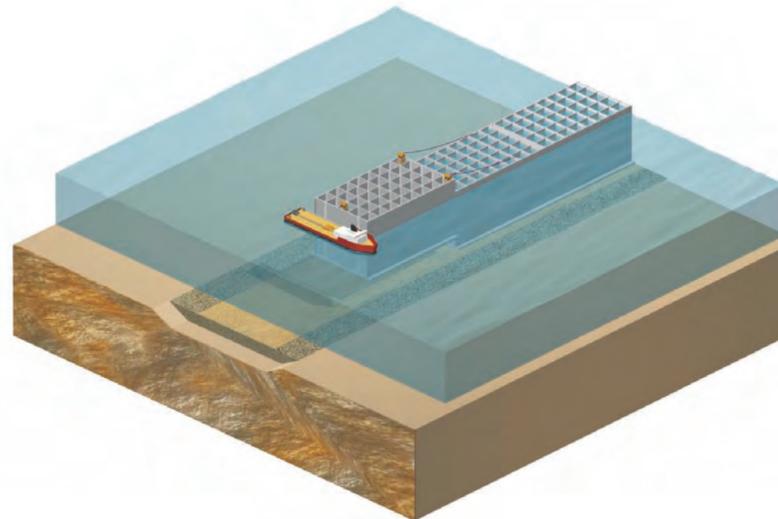
FASE 4.c. Fondeo de cajones por inundación



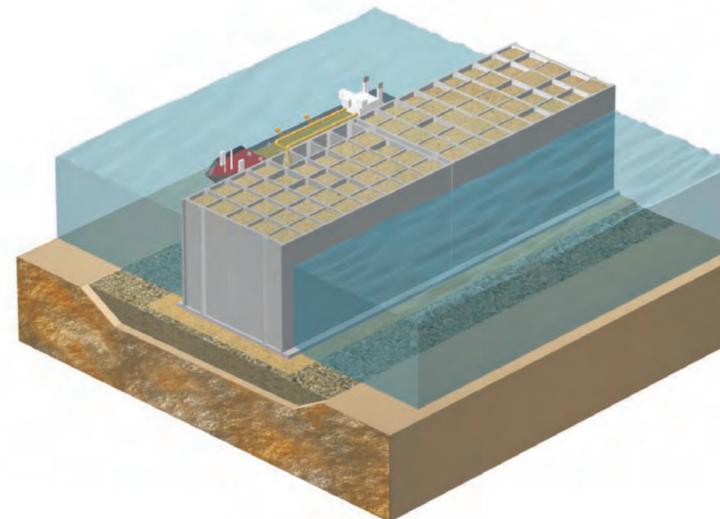
FASE 1. Dragado en zanja



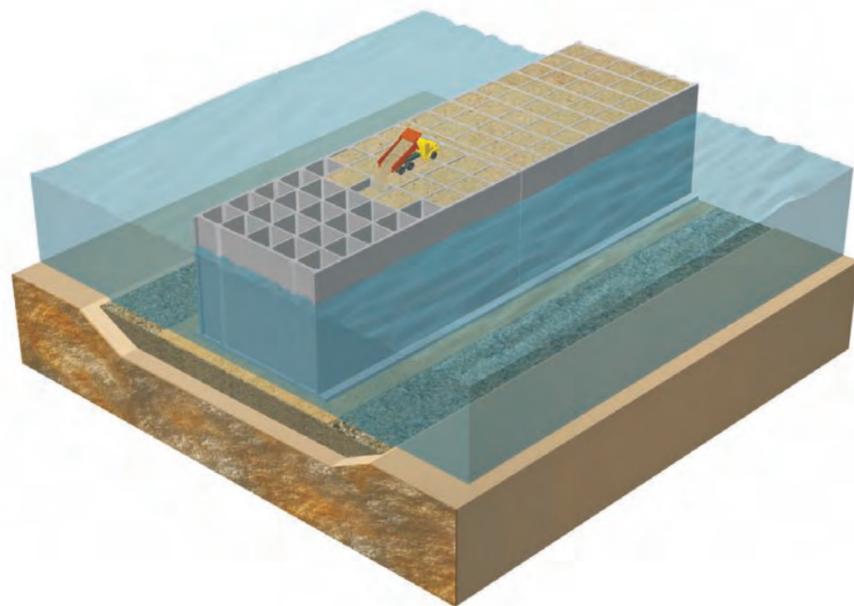
FASE 3. Enrase de grava



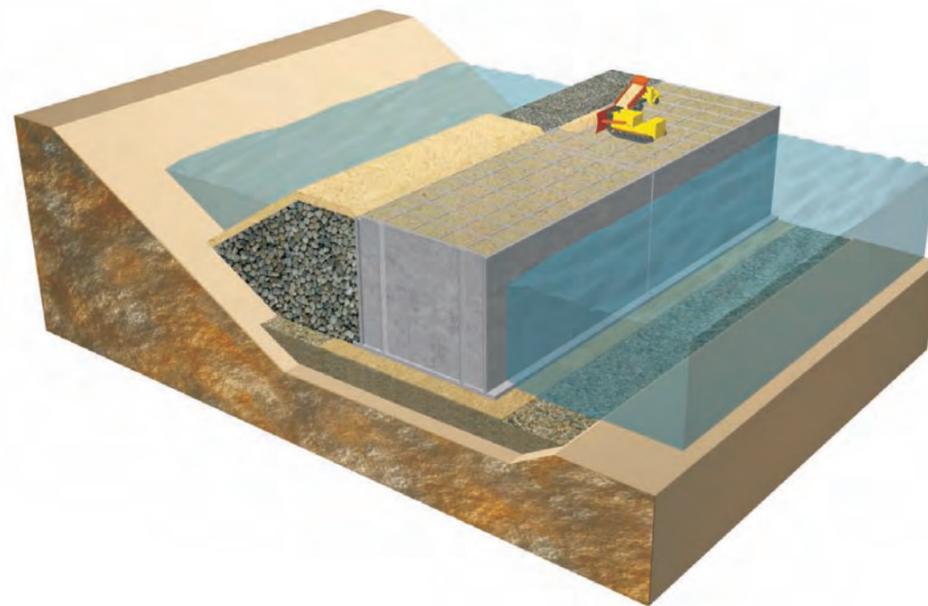
FASE 4.b. Posicionamiento



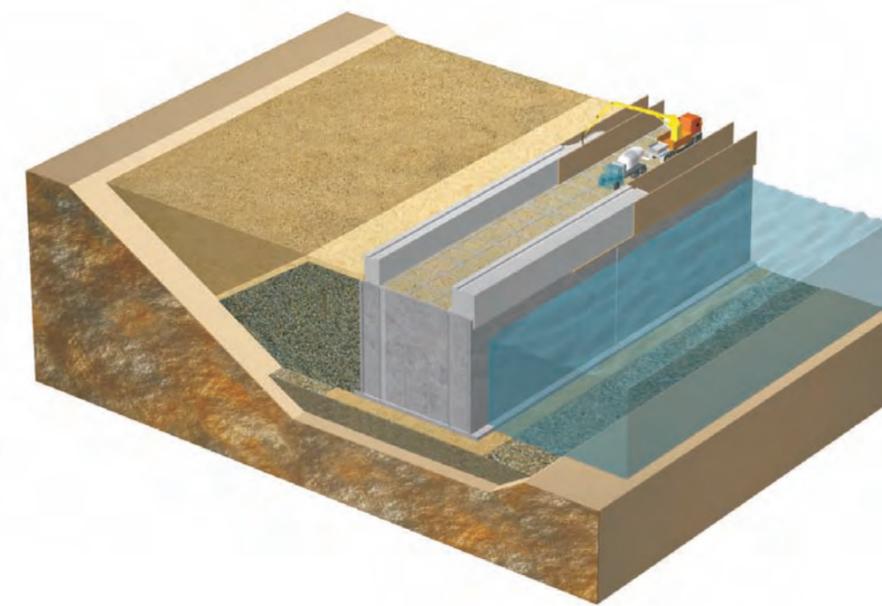
FASE 5. Relleno de celdas de cajones por medios marítimos



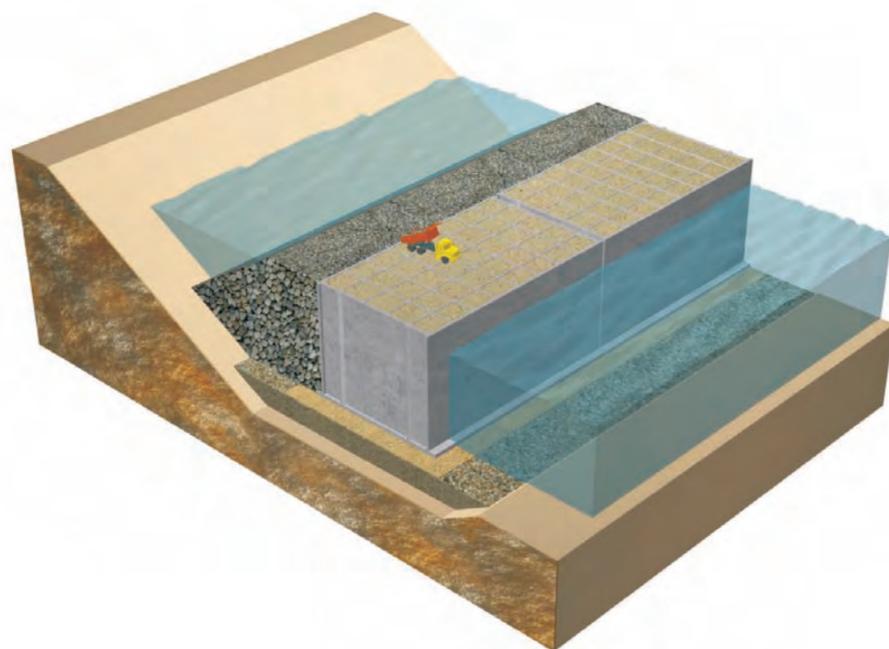
■ **FASE 6.** Relleno de cajones por medios terrestres



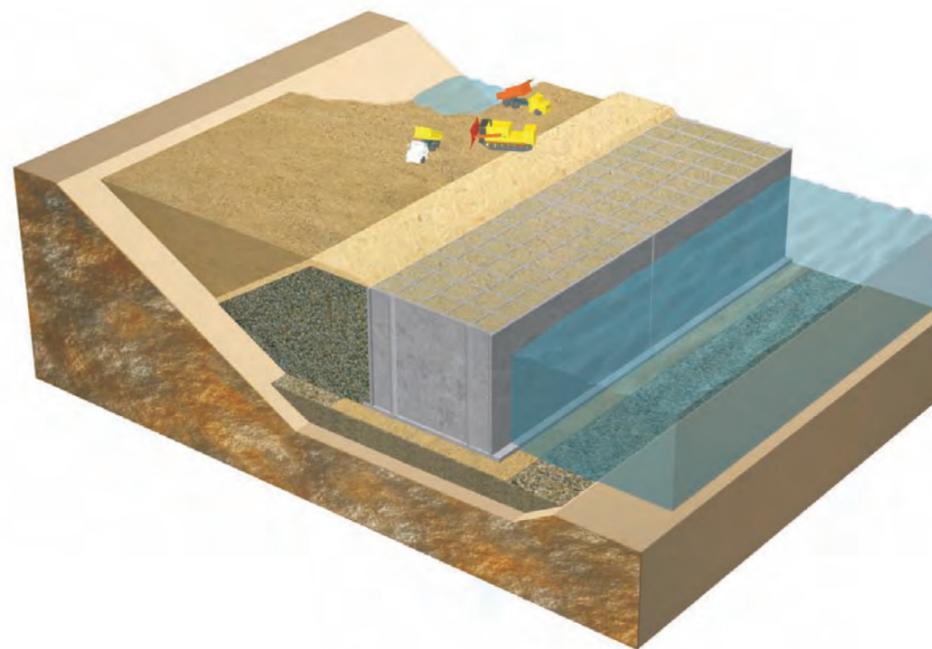
■ **FASE 8.** Colocación de filtro



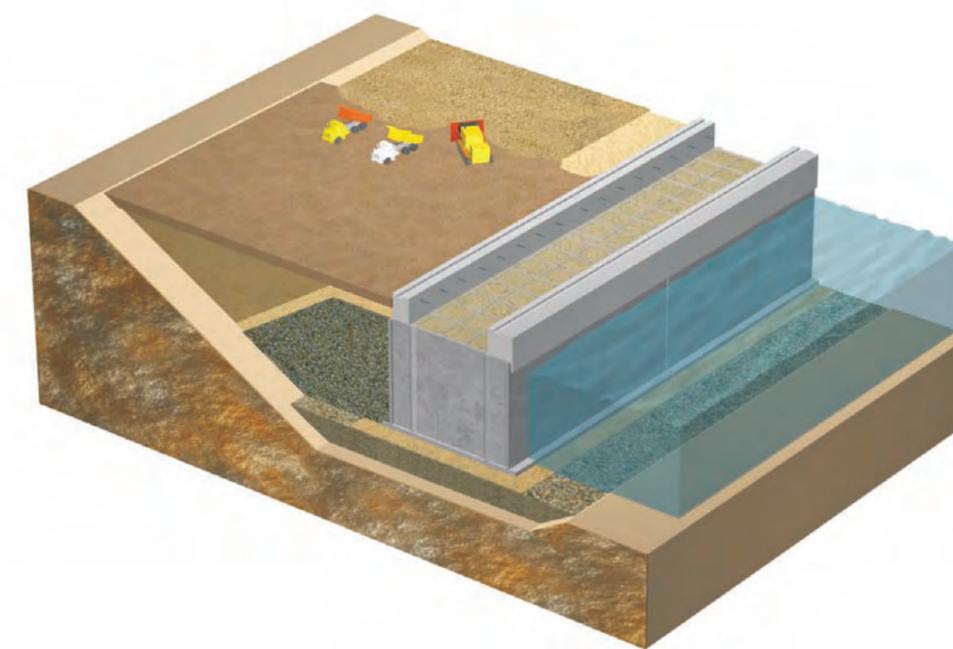
■ **FASE 10.** Hormigonado de superestructura



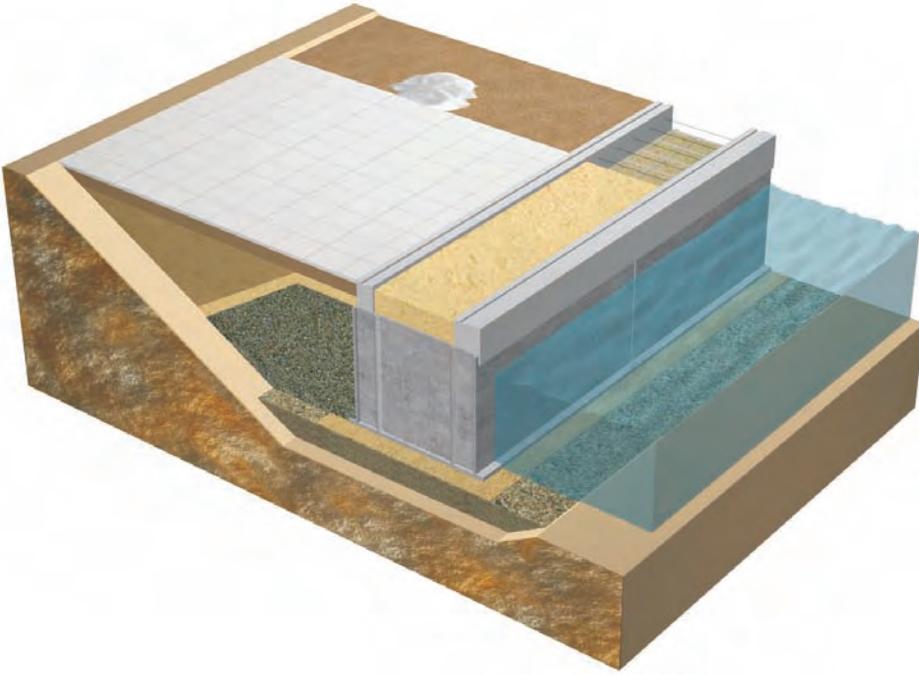
■ **FASE 7.** Ejecución de pedraplén en trasdós de cajones



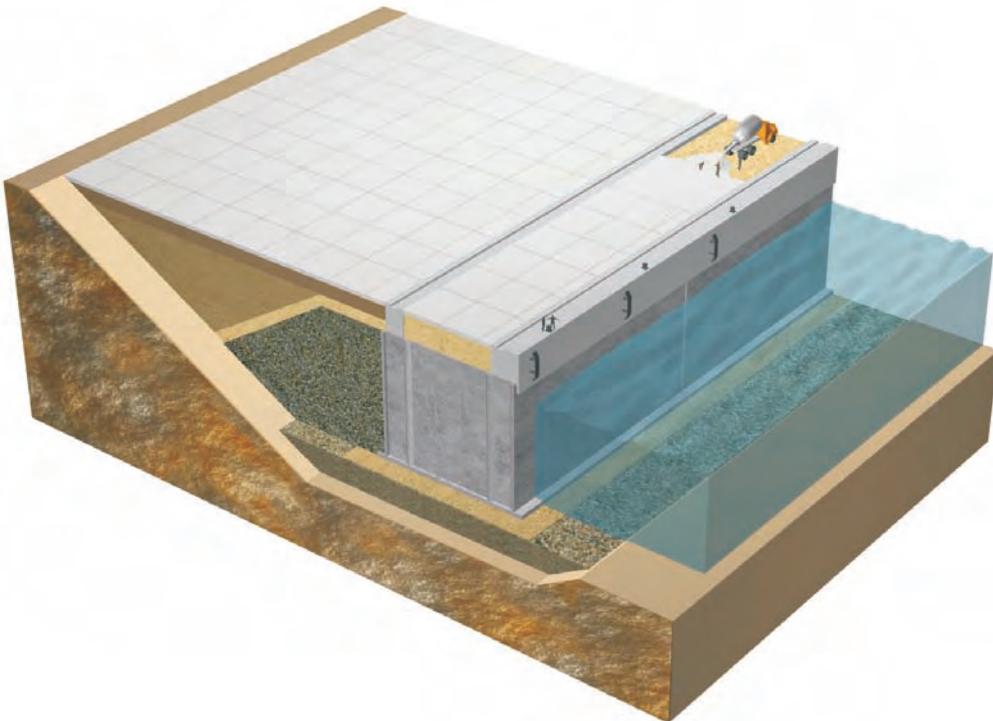
■ **FASE 9.** Ejecución del relleno general



■ **FASE 11.** Colocación de relleno seleccionado y compactado



■ **FASE 12.** Construcción de pavimento



■ **FASE 13.** Construcción de pavimento y habilitación del muelle. Colocación de defensas y bolardos

8.1.1.d *Banqueta de cimentación*

El material que se emplea deberá satisfacer los siguientes requerimientos:

- Tendrá las características físico-químicas que prescribe el Pliego del Proyecto.
- Se observarán los condicionantes del Pliego, en particular en lo referente a la granulometría.
- Las características del material deben ser homogéneas en toda la banqueta con el fin de que las deformaciones sean uniformes.

En cuanto a la geometría se observará lo siguiente:

- Para determinar la cota de coronación se tendrá en cuenta que:
 - Por acción de la carga de los cajones y el relleno de los mismos, las banquetas de cimentación reducen su espesor entre el 2,5% y el 5%.
 - El Proyecto puede haber previsto asientos del terreno natural que se pueden compensar incrementando la cota de coronación de la banqueta.
 - El empuje de los rellenos del trasdós provoca que el cajón asiente más en el lado del cantil que en el opuesto.
- En el proceso de ejecución es preceptivo:
 - Asegurar que la superficie sobre la que se coloca la banqueta no se ha alterado desde su preparación por acarreo, sedimentación o aporte incontrolado de material.
 - Evitar la aportación de escolleras de mayor tamaño que el previsto, puesto que ello dificulta el enrase y puede dañar la solera del cajón cuando se fondea. En la zona próxima al enrase es habitual disponer escollera de 25 a 100 Kg.
 - La colocación de los mantos y/o las losas de protección se realizará a la mayor brevedad posible para disminuir el riesgo de socavación de la banqueta de cimentación.

8.1.1.e *Enrase de la banqueta*

Las banquetas para cimentación de los muelles de cajones se encuentran habitualmente en dársenas con muy pequeña agitación, lo que permite realizar el enrase con desfases temporales importantes respecto del fondeo de los cajones. Antes de colocar los cajones se verificará el correcto estado de la superficie del enrase, eliminando los aterramientos si se hubieran producido.

8.1.1.f *Transporte de los cajones*

Los cajones que se emplean en la construcción de muelles tienen unas dimensiones que normalmente se sitúan entre los siguientes valores:

- Puntal: 15/25 m.
- Manga: 12/18 m.
- Eslora: Depende del medio de construcción.

Suele ser necesaria la instalación de tapas en el caso de transportes por zonas no abrigadas con duración mayor de 24 horas.

La utilización de lastre sólido en vez de líquido permite conseguir la misma estabilidad naval con menor peso y, por tanto, con menor calado.

Cuando los cajones se fabrican en el mismo puerto donde se fondean, se recomienda evitar fondeos provisionales, para ello se enrasará la banqueta antes de la botadura de los cajones para poder fondearlos en su ubicación definitiva.

8.1.1.g Fondeo de los cajones

El fondeo de los cajones que forman parte de los muelles se realiza habitualmente en aguas abrigadas (figura 8.1.1.g). Se deben planificar las distintas operaciones:

- Anclajes para cabrestantes. En cajones de pequeño porte y aguas muy abrigadas puede ser suficiente con trácteles manuales.
- Elementos de seguridad: redes, escalas, aros salvavidas, etc.
- Balizamiento e iluminación.
- Comunicación entre las celdas, que no deberá comprometer la estabilidad del cajón a flote.
- Secuencia de lastrado.

Una vez planificado el fondeo, construido el cajón y ejecutado el enrase, las operaciones a realizar son:

- Preparación del cajón: instalación de elementos para el remolque, el fondeo y de seguridad.
- Comprobación visual del enrase: se debe asegurar que no se han producido aterramientos ni socavaciones.
- Aviso a la Capitanía Marítima y a los Prácticos para evitar las interferencias con la navegación. Es conveniente solicitar la reducción de velocidad en los buques cuya estela pueda afectar a la operación de fondeo.
- Verificación de la retirada de maderas, plásticos y otros elementos de la solera y de los paramentos del cajón.

- Situación y fondeo del cajón.
- Inspección visual del estado del cajón una vez fondeado con buzos o cámaras robotizadas para verificar su correcto apoyo en la banqueteta.
- Comprobación topográfica de los hitos situados en las esquinas del cajón y su seguimiento temporal.
- Cerrado de las válvulas.
- Retirada de los elementos de remolque.



Figura 8.1.1.g Construcción muelle

8.1.1.h Relleno de celdas y juntas

Se observarán las Prescripciones del Pliego, en especial en lo referente a:

- Las características del material con el que se rellenan las celdas.
- La diferencia máxima entre la altura alcanzada por el relleno en dos celdas contiguas.

A este respecto, son de aplicación las consideraciones expuestas en el apartado 6.5 *Relleno de celdas de cajones*.

8.1.1.i Relleno de trasdós

Las características del material con el que se rellena el trasdós, el ángulo de rozamiento interno, el coeficiente de rozamiento con el paramento del cajón, la densidad y la permeabilidad son determinantes del comportamiento del muelle en cuanto a su estabilidad. Estas características vienen determinadas en gran medida por la granulometría y el contenido en finos del material que se controlará rigurosamente.

La determinación mediante ensayos del ángulo de rozamiento del material de relleno de trasdós es conveniente efectuarla con distintas compacidades del mismo y a partir de esos datos realizar el cálculo de los empujes sobre el paramento del trasdós del muelle.

La colocación se efectuará asegurando que no se desplazan los materiales de los rellenos generales o de los fondos marinos hacia el paramento del trasdós del muelle. Es conveniente realizar el vertido del material desde los cajones hacia el interior de la explanada.

Son de aplicación las consideraciones realizadas en el apartado 6.4 *Relleno de trasdós*, en particular en lo relativo a la utilización de pedraplén o “*todo-uno*” de cantera como material apto para el relleno de trasdós, que elimina incertidumbres sobre los empujes.

8.1.1.j Rellenos generales

Los rellenos generales se ejecutarán evitando que entren en contacto con el trasdós de las estructuras, así como que desplacen los fangos que pudiera haber hacia la zona que debe ocupar el relleno de trasdós.

Cuando se realicen precargas, se asegurará que el incremento de los empujes sobre el cajón no cuestiona su estabilidad.

A este respecto, son de aplicación las consideraciones expuestas en el apartado 6.2 *Rellenos generales*.

8.1.1.k Superestructura

La construcción de la superestructura no se debe iniciar hasta que los cajones, una vez trasdosados, hayan estabilizado los movimientos ocasionados por los empujes.

Son de aplicación las consideraciones realizadas en el capítulo 9 *Superestructura de diques y muelles*.

8.1.2 Muelles de bloques

8.1.2.a Introducción

Estos muelles están formados por un conjunto de bloques de hormigón colocados sobre una banqueta de todo-uno o escollera convenientemente enrasada. En la figura 8.1.2.a A se identifican los elementos más característicos de este tipo de muelles.

Los bloques son normalmente paralelepípedicos y macizos aunque también se construyen con huecos en su interior al objeto de aligerar su peso y facilitar la manipulación.

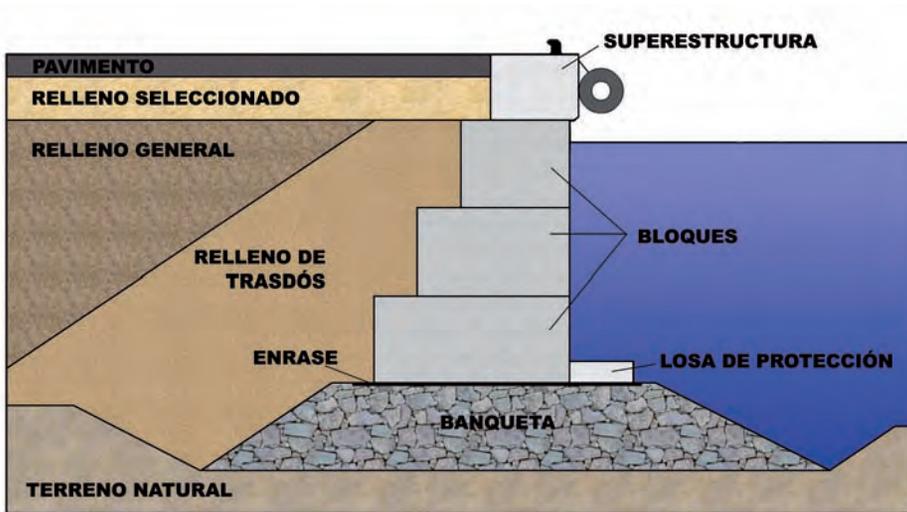


Figura 8.1.2.a A Sección muelle de bloques

Hay bloques con formas complejas, generalmente sujetos a patentes, que reducen el volumen de hormigón, permiten trabar las piezas y/o disminuir el coeficiente de reflexión del oleaje, como es el caso de los bloques warock (figura 8.1.2.a.B).



Figura 8.1.2.a B Bloques warock

Las actividades que se realizan en la construcción de este tipo de muelles son las mismas que un muelle de cajones, salvo las que se derivan de sustituir los cajones por bloques, y se relacionan a continuación (figura 8.1.2.a C):

- Dragado de la zanja para la cimentación de la banqueta.
- Mejora del terreno de cimentación si está contemplado en el Proyecto.
- Banqueta de cimentación.
- Enrase de la banqueta.
- Fabricación y acopio de los bloques.
- Colocación de los bloques.
- Relleno de trasdós.
- Rellenos.
- Superestructura.
- Pavimento.

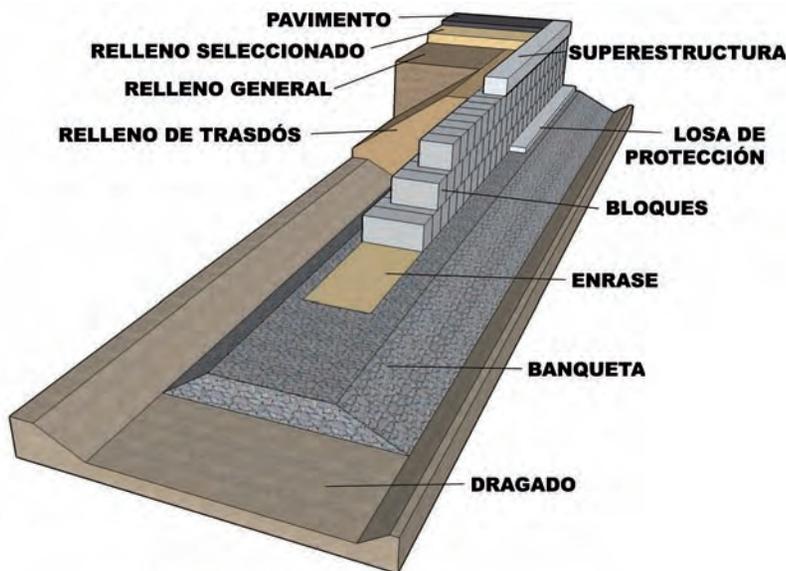


Figura 8.1.2.a C Secuencia constructiva muelle de bloques

A continuación se detallan únicamente las actividades específicas para la construcción de un muelle de bloques, siendo de aplicación para las restantes actividades lo expuesto para los muelles de cajones.

8.1.2.b Construcción y enrase de la banqueta de cimentación

Al tener los muelles de bloques un calado reducido con respecto a los muelles de cajones, la única salvedad consiste en que las operaciones para la construcción y enrase de la banqueta, en ocasiones, se pueden realizar desde tierra con el auxilio de grúas.

8.1.2.c Fabricación de bloques

Los procesos de fabricación de los bloques de hormigón se deben planificar a partir de las siguientes consideraciones:

- Los hormigones con los que se fabrican las piezas deben tener baja relación agua/cemento y consistencia seca. Estas características del hormigón condicionan la fabricación porque:
 - La puesta en obra debe hacerse por medio de cinta, por vertido directo desde camión hormigonera o “*dúmp*er”, tornillo sinfín o cualquier otro sistema que permita la puesta en obra de hormigón con consistencia seca.
 - Se requieren un vibrado potente.
- Para manipular y colocar los bloques una vez hormigonados se respetarán los plazos temporales requeridos por el Pliego. Se mantendrán en ambiente que favorezca el proceso de curado.
- La circulación de las máquinas que realizan:
 - El movimiento de los encofrados.
 - El hormigonado y el movimiento de cintas, camiones hormigonera, “*dumpers*” y otros equipos.
 - La carga y el transporte de los bloques desde el lugar de fabricación a los acopios. Determinados elementos de elevación de los bloques requieren un espacio en torno a ellos para poder realizar las operaciones.
- Las cargas que se transmiten al terreno por:
 - Maniobras de grandes grúas móviles.
 - El acopio de bloques realizado en altura, que puede transmitir al terreno cargas considerables.
- La evacuación de las aguas superficiales, realizando las explanaciones con las pendientes adecuadas e instalando drenes y cunetas.
- La eliminación de los residuos y de los bloques rechazados.
- Los plazos de disponibilidad de las superficies, donde se ubicarán las plantas de fabricación y los acopios.
- Las características de los encofrados, el número de usos que se hace de los mismos, programando su mantenimiento y su posible restitución. Para lograr una correcta colocación se debe asegurar el paralelismo entre las caras.
- Los plazos de fabricación.

- El tamaño de los bloques que puede requerir transportes especiales para su desplazamiento, en cuyo caso es aconsejable situar el parque en las proximidades del lugar de colocación o conectado a él por vías que permitan el transporte sin restricciones e, incluso, sin requerir permisos o escoltas.

Los procesos de fabricación de bloques de formas complejas se deben establecer atendiendo a las siguientes cuestiones:

- Los procedimientos de los diseñadores, habitualmente sujetos a patentes, que definen:
 - Los encofrados.
 - Las formas de encofrar y desencofrar.
 - Las características del hormigón.
 - Las formas de hormigonar.
 - El proceso de curado.
 - La resistencia exigida al hormigón en las distintas fases.
 - La manipulación y el acopio de los bloques.

8.1.2.d Manipulación, transporte y colocación de bloques

La manipulación de los bloques está condicionada por la forma de enganche para su elevación que debe permitir que se coloquen adosados y por el(los) tipo de grúa(s) que se utilice(n) -fija, móvil o puente-grúa-, en el parque de fabricación y para la colocación de los mismos.

Entre el gancho de la grúa y los bloques se instalan unos artilugios para poder elevarlos, entre ellos los más utilizados son:

- Grupos de eslingas o cadenas, que con grilletes o ganchos se conectan a unas “asas” que previamente se han instalado en los bloques de hormigón por distintos procedimientos:
 - Roscando unas piezas a modo de “asas” a unos casquillos embutidos en el hormigón. Una vez colocado el bloque se pueden recuperar las “asas”.
 - Cables metálicos y/o trozos de eslingas destrenzados anclados en la masa de hormigón.

Estos procedimientos que permiten manipular y/o colocar los bloques adosados unos a otros se recomiendan cuando el número de bloques fabricados es pequeño.

- Cadenas, eslingas o bandas textiles de alta resistencia, que alojándose en unas hendiduras que se han dejado en bloques, los abrazan. Los extremos de estas cadenas, eslingas o bandas se conectan con grilletes a los sistemas de elevación:

- Las operaciones son lentas.
- Las inversiones necesarias son muy reducidas.
- Llaves con forma de T invertida, que se introducen en unos alojamientos dejados al efecto en los bloques y al girar se fijan o liberan. Al actuar sobre la cara superior de los bloques permiten adosarlos tanto en la fabricación como en la colocación. Son un procedimiento adecuado cuando el número de bloques a colocar es elevado.

La manipulación de bloques debe hacerse cuando el hormigón haya alcanzado la resistencia mínima requerida.

La manipulación de los bloques de formas especiales se realizará de acuerdo con los procedimientos establecidos por su diseñador.

Para transportar bloques se tiene que considerar:

- El tamaño de los bloques y, en consecuencia, el de los equipos de transporte en tanto que:
 - Requieren un buen estado de las vías para evitar averías y conseguir buenos rendimientos, lo que se logra con una adecuada conservación.
 - Los equipos de transporte se deben equipar para que las piezas se sitúen en el lugar correcto sobre los apoyos dispuestos, para evitar que se dañen.
- Las características de las vías -pendientes, radios de las curvas y anchura- limitan las condiciones del transporte de las piezas e influyen en el rendimiento. Se debe realizar un mantenimiento adecuado de los viales.

Para el diseño y preparación de los acopios se tendrá en cuenta:

- Las características del terreno relativas a:
 - La capacidad portante. Ésta será suficiente para soportar las cargas que transmiten los bloques, en general apilados, y para permitir la operación de los equipos de carga y transporte.
 - La facilidad para adecuar la superficie, la nivelación y la evacuación de las aguas.
 - La conexión con el parque de fabricación y las zonas donde se colocarán los bloques.
- La distribución de los viales y las áreas de almacenamiento para optimizar la entrada, la descarga, la carga y la salida de los bloques, según el tipo y la antigüedad.
- Asegurar la disponibilidad de la superficie durante todo el tiempo necesario.

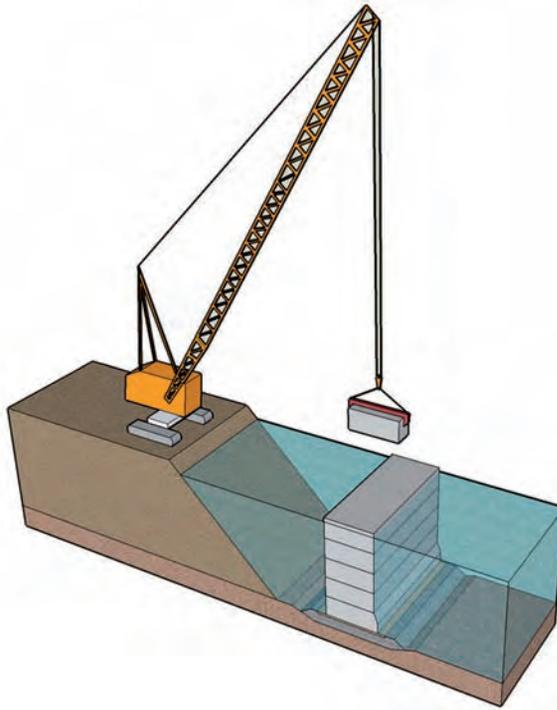


Figura 8.1.2.d Colocación de bloques con grúa

En cuanto a la colocación, cuando se realiza con grúa desde tierra (figura 8.1.2 d), el proceso a seguir es el siguiente:

1.º Diseño de la operación:

- Posicionamiento de la grúa: alcance con bloque emergido y sumergido. Accesos para equipos de transporte.
- Comprobación de estabilidad de los taludes con las sobrecargas de las grúas.
- Secuencia de colocación.

2.º Comprobación de la superficie de apoyo:

- Asegurar que no existen aterramientos.
- Comprobar la geometría del enrase.

3.º Colocación de los bloques:

- En ocasiones, colocadas las hiladas inferiores, es conveniente realizar el relleno del trasdós a la mayor brevedad posible para evitar aterramientos y permitir aproximar los equipos de colocación de las siguientes hiladas.
- Se dispondrá de un procedimiento que permita determinar la posición del bloque una vez colocado y antes de soltar los enganches.
- Se registrará la posición final de cada uno de los bloques.

8.1.2.e *Relleno de trasdós*

El procedimiento es similar al descrito para un muelle de cajones. Los muelles de bloques tienen un gran número de juntas, por lo que la granulometría del material empleado en el relleno del trasdós debe ajustarse estrictamente a lo previsto en el Pliego. El material que se emplea suele ser escollera, pedraplén o todo-uno de cantera, lo que obliga a disponer un filtro entre el material de relleno de trasdós y el relleno general.

A este respecto, son de aplicación las consideraciones expuestas en el apartado 6.4 *Relleno de trasdós*.

8.1.2.f *Rellenos generales*

Los rellenos generales se ejecutarán evitando que entren en contacto con los bloques, así como que desplacen los fangos que pudiera haber hacia la zona que debe ocupar el relleno de trasdós.

Cuando se realicen precargas, se asegurará que el incremento de los empujes sobre el muro de bloques no cuestiona su estabilidad.

A este respecto, son de aplicación las consideraciones expuestas en el apartado 6.2 *Rellenos generales*.

8.1.2.g *Superestructura*

La construcción de la superestructura no se debe iniciar hasta que los bloques, una vez trasdosados, hayan estabilizado los movimientos ocasionados por los empujes.

Son de aplicación las consideraciones realizadas en el capítulo 9 *Superestructura de diques y muelles*.

8.1.3 Muelles de hormigón sumergido

8.1.3.a *Introducción*

Los muelles de gravedad pueden estar constituidos por una estructura de hormigón en masa. En la figura 8.3.1.a.A se identifican los elementos más característicos de este tipo de muelles. Esta tipología de muelles, hormigonados "*in situ*", es adecuada en los casos señalados a continuación:

- Cuando el terreno sobre el que se cimenta tiene alta capacidad portante y es poco deformable.

- En zonas abrigadas en las que se pueda trabajar con $H_s < 1$ m.
- En ambientes no agresivos químicamente.
- Para muelles con calados inferiores a 10/12 m.
- Si no se disponen de explanadas para el parque de bloques.
- Si no hay equipos para el transporte y colocación de bloques.

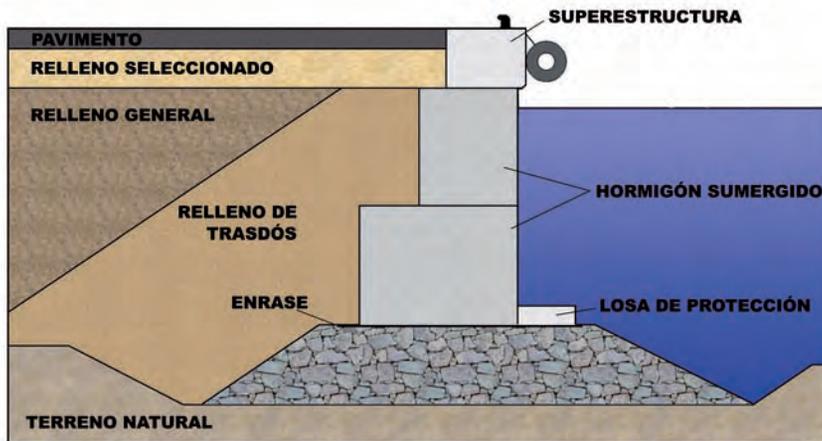


Figura 8.1.3.a A Sección muelle de hormigón sumergido

La construcción de un muelle de hormigón sumergido requiere las siguientes operaciones (figura 8.1.3 a B):

- Actividades iniciales.
- Preparación del terreno de cimentación.

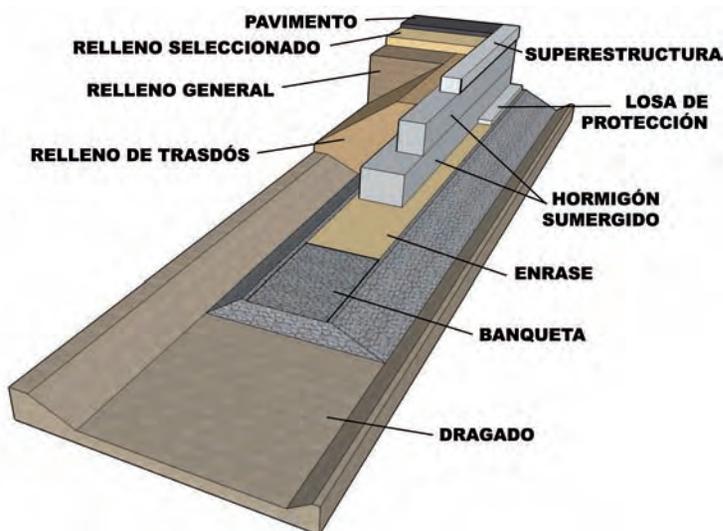


Figura 8.1.3.a B Secuencia constructiva muelle de hormigón sumergido

- Encofrados.
- Hormigonado.
- Relleno de trasdós.
- Rellenos.
- Superestructura.
- Pavimento.

8.1.3.b Actividades iniciales

Previamente a la ejecución de un muelle de hormigón sumergido hay que planificar las distintas actividades y, en particular, los encofrados y la dosificación de los hormigones. Aspectos sobre los que hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Encofrados:
 - Se deben reducir las operaciones que tengan que realizarse con buzos, diseñando los encofrados de forma que su montaje y la operación de desencofrado se realicen fácilmente (figura 8.1.3.b).
 - Suelen tener un plazo de entrega de 1-2 meses.
 - La forma de los encofrados facilitará la trabazón entre las distintas puestas.
- Dosificación del hormigón que permita que éste tenga las siguientes características:
 - Ser bombeable, lo que requiere una consistencia entre fluida y plástica y un tamaño máximo de los áridos de 25 mm.
 - Tener una granulometría cerrada.
 - Debe ser de rápido fraguado.



Figura 8.1.3.b Encofrado

8.1.3.c Preparación del terreno de cimentación

La preparación del terreno sobre el que se coloca el hormigón se ejecuta de forma distinta según la naturaleza de los fondos:

- Fondos rocosos
 - Se limpiarán de vegetación, de finos y de sedimentos.
 - Se regularizará la superficie donde se apoye el encofrado, normalmente con sacos de hormigón en seco, que además sellan la salida de la lechada del hormigón.

Cabe destacar que los muelles de hormigón sumergido cimentados directamente sobre fondos rocosos tienen un comportamiento excelente.

- Fondos con materiales sueltos
 - Se construirá una banqueta de escollera.
 - Se regularizará la superficie con los criterios empleados en los enrasos.
 - Sólo es necesario enrasar las zonas de apoyo de los encofrados.

8.1.3.d Encofrados

Los encofrados se pueden diseñar de varias formas:

- **ENCOFRADOS PERDIDOS**

Construidos con piezas prefabricadas de hormigón (figura 8.1.3.d A) con sección transversal en forma de L, H ó T que configuran los paramentos exteriores del cuerpo del muelle de hormigón “*in situ*”:

- Los paramentos vistos formados por las piezas prefabricadas pueden tener gran calidad y fabricarse con hormigones especiales: resistentes a la abrasión, a las aguas agresivas, etc.
- Es recomendable que la altura de estas piezas prefabricadas no sobrepase los 2 m, ya que tienen que soportar el empuje del hormigón fluido y al mismo tiempo ser transportables por carretera.
- El sistema de cuelgue se debe diseñar de forma que las piezas queden suspendidas en la misma posición en la que se colocarán.
- Se puede disponer de piezas de encofrado perdido especialmente construidas para anclaje de escalas, defensas y otros elementos.
- La superficie de los paramentos construidos con encofrados perdidos de hormigón pueden tener acabados superficiales con formas y texturas adaptadas al entorno o, incluso, presentar un paramento exterior de piedra natural o artificial.



Figura 8.1.3.d A Encofrado perdido

- ENCOFRADOS A DOS Y CUATRO CARAS

Los encofrados con un número par de caras enfrentadas dos a dos (figura 8.1.3.d B y C) permiten arriostar o atirantar éstas.

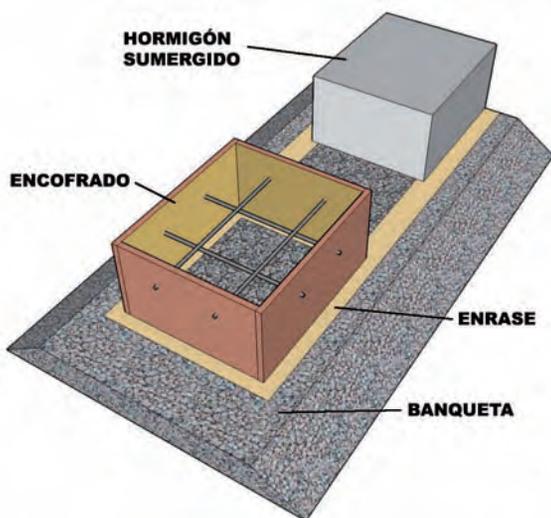


Figura 8.1.3.d B Encofrado a cuatro caras

Los encofrados que no pueden ser atirantados a uno paralelo requieren de estructuras más rígidas, pesadas y costosas.

Es práctica recomendable utilizar un sistema de encofrado doble con un encofrado rectangular cerrado que sirve para el hormigonado de módulos separados y un encofrado a dos caras que se apoyan en los módulos anteriores.

Los encofrados pueden incluir tanques que al ser lastrados o deslastrados permitan su colocación o puesta a flote con medios de elevación ligeros.

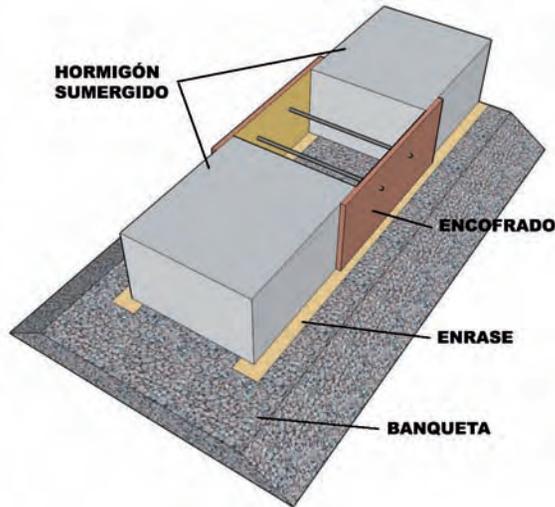


Figura 8.1.3.d C Encofrado a dos caras

• ENCOFRADOS A TRES CARAS

La cara frontal arriestra las laterales que, en avance, se sujetan al módulo anterior. Los alojamientos de los tirantes delanteros en el sentido de avance pasan a serlo de los traseros en la siguiente puesta del encofrado. El panel frontal requiere mayor rigidez al no estar atirantado (figura 8.1.3.d D).

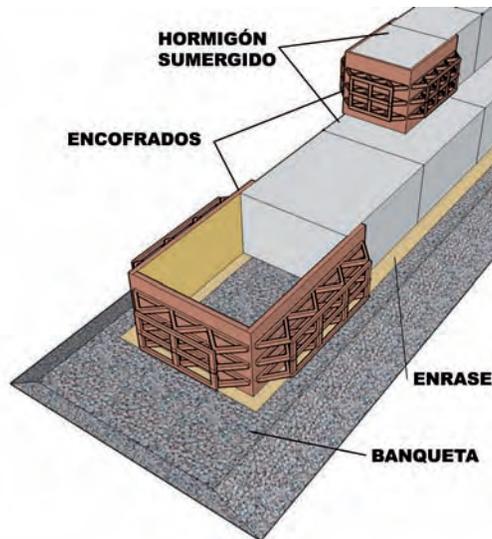


Figura 8.1.3.d D Encofrado a tres caras

8.1.3.e Hormigonado

El hormigonado se ejecutará teniendo en consideración los siguientes aspectos:

- Se hormigonará con bomba cada módulo sin paradas, normalmente desde tierra, y se mantendrá el extremo de la manguera introducido en la masa del hormigón en torno a 20 cm (figura 8.1.3.e).
- Se limpiará la superficie de la tongada anterior. Es frecuente que en la parte superior se deposite una mezcla de sales, cemento y otros elementos que no fragua, creando una inadecuada junta que puede comprometer la estabilidad estructural del muelle. La limpieza se puede hacer con lanza de agua.
- Cuando se utilicen encofrados perdidos no se harán coincidir las juntas horizontales de hormigonado con las juntas de las piezas de encofrado.



Figura 8.1.3.e Hormigonado con bomba

- Cuando se produzca una interrupción en el hormigonado y, al reanudar éste no sea posible introducir el extremo de la manguera en el hormigón ya colocado, se limpiará la superficie.

Los muelles de hormigón sumergido se calculan como estructuras monolíticas por lo que se deben construir con esta premisa. Esto se consigue:

- Diseñando los encofrados para transmitir adecuadamente los esfuerzos en las juntas de construcción.
- Tratando adecuadamente las juntas de construcción.

8.1.3.f *Relleno de trasdós*

El procedimiento es similar al descrito para un muelle de bloques. El material que se emplea suele ser escollera, pedraplén o todo-uno de cantera, lo que obliga a disponer un filtro entre el material de relleno de trasdós y el relleno general.

A este respecto, son de aplicación las consideraciones expuestas en el apartado 6.4 *Relleno de trasdós*.

8.1.3.g *Rellenos generales*

Los rellenos generales se ejecutarán evitando que entren en contacto con el paramento de hormigón del muelle, así como que desplacen los fangos que pudiera haber hacia la zona que debe ocupar el relleno de trasdós.

Cuando se realicen precargas, se asegurará que el incremento de los empujes sobre el muro de hormigón no cuestiona su estabilidad.

A este respecto, son de aplicación las consideraciones expuestas en el apartado 6.2 *Rellenos generales*.

8.1.3.h *Superestructura*

La construcción de la superestructura no se debe iniciar hasta que el muro de hormigón, una vez trasdosado, haya estabilizado los movimientos ocasionados por los empujes.

Son de aplicación las consideraciones realizadas en el capítulo 9 *Superestructura de diques y muelles*.

8.2 MUELLES DE PILOTES

8.2.1 Introducción

Este tipo de muelles son estructuras formadas por una plataforma sustentada por pilotes que transmiten los esfuerzos al terreno. En la figura 8.2.1. se identifican los elementos más característicos de este tipo de muelles. Su construcción está especialmente indicada en los siguientes casos:

- Cuando el terreno de cimentación tiene poca capacidad portante y/o es altamente deformable.
- En zonas sísmicas donde las estructuras con menor masa tienen mejor comportamiento.
- En lugares donde se pretende disminuir la reflexión del oleaje.
- En la construcción de pantalanes y Duques de Alba.

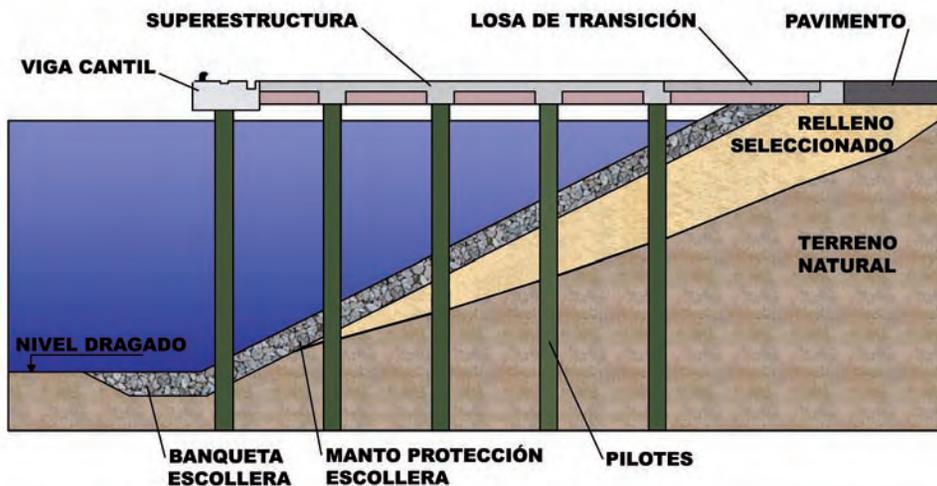


Figura 8.2.1 Sección muelle de pilotes

La construcción de un muelle de pilotes se puede abordar desde una plataforma terrestre formada con rellenos vertidos sobre el fondo marino o bien construyendo directamente los pilotes con medios flotantes y rellenando posteriormente la explanada y el talud entre pilotes.

En caso de ejecutar los pilotes desde una plataforma terrestre se realizan todas o alguna(s) de las siguientes actividades:

- Dragado del terreno natural: cuando se realiza tiene por objeto, normalmente, realizar una mejora de terreno por sustitución.
- Mejora del terreno de cimentación: actividad alternativa o complementaria de la anterior.
- Relleno de una mota con anchura suficiente para la construcción de los pilotes.

- Construcción de los pilotes desde la mota.
- Construcción parcial de la superestructura (tablero del muelle).
- Dragado del terreno natural y rellenos sobrantes.
- Formación del talud bajo el tablero del muelle y protección con escollera.
- Formación de explanada.
- Finalización de la superestructura y habilitación del muelle.

Cuando los pilotes se ejecutan desde medios flotantes se realizan todas o alguna(s) de las siguientes actividades:

- Dragado del terreno natural si el Proyecto lo contempla: normalmente obedece a una mejora de terreno por sustitución.
- Mejora del terreno de cimentación cuando el Proyecto lo contemple.
- Construcción de los pilotes desde medios flotantes.
- Formación de la explanada, vertido del relleno entre pilotes y protección del talud con escollera.
- Construcción de la superestructura (tablero del muelle) y habilitación del mismo.

Atendiendo a la tipología de los pilotes se distinguen dos clases:

- Pilotes fabricados “*in situ*”.
- Pilotes prefabricados.

8.2.2 Muelles de pilotes ‘in situ’ ejecutados desde una plataforma terrestre

8.2.2.a Relleno de la mota

En la ejecución del relleno de la mota provisional, para la construcción de los pilotes, se tendrán en consideración los siguientes aspectos:

- El material que se emplee estará exento de piedras de tamaño mayor de 100 mm, al objeto de facilitar la ejecución de los pilotes.
- La mota tendrá la suficiente capacidad portante para soportar la maquinaria necesaria para la ejecución.
- La mota se construirá con pendiente adecuada para facilitar la rápida evacuación de las aguas.
- El material de relleno que no vaya a ser retirado cumplirá las condiciones establecidas en el Pliego del Proyecto.

8.2.2.b Construcción de los pilotes desde la mota

Los procedimientos constructivos (figura 8.2.2.b A) son los mismos que se utilizan para la realización de pilotajes en tierra por debajo del nivel freático y, con carácter general, se debe prestar atención a las siguientes observaciones:

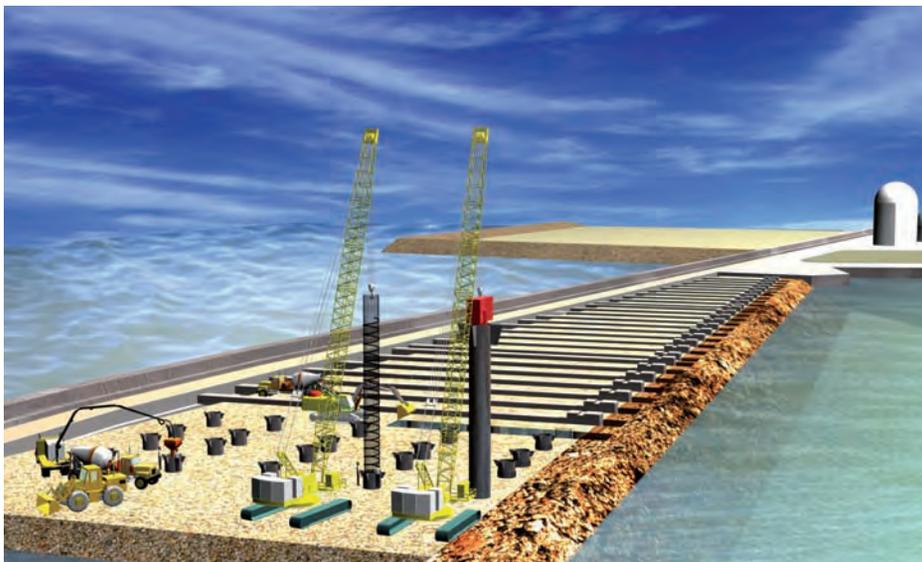


Figura 8.2.2.b A Secuencia constructiva muelle de pilotes

• PERFORACIÓN

La perforación del terreno, con sostenimiento en las zonas en que sea necesario, se realizará hasta alcanzar la mayor de las dos profundidades siguientes:

- La que proporciona el empotramiento mínimo requerido por el Proyecto.
- La que permite alcanzar los estratos competentes previstos en el Proyecto.

• ENCAMISADO

La parte de pilote que atraviesa el relleno vertido para su construcción debe ir encamisada (con camisa perdida o recuperable) con el fin de sostener la excavación. La disposición de camisa en el resto de pilote, penetrando el suelo natural, depende de la naturaleza del terreno.

En los tramos de pilote que tras retirar los rellenos vayan a quedar vistos se recomienda la utilización de camisas perdidas con pequeño espesor de chapa de acero (entre 2 mm y 5 mm) para asegurar los recubrimientos y lograr un buen acabado superficial.

- **COLOCACIÓN DE ARMADURAS (figura 8.2.2.b B)**

Los distintos sistemas de ejecución de pilotes tienen establecidos unos procedimientos para:

- Evitar el contacto de las armaduras con el terreno.
- Asegurar los recubrimientos mínimos.
- En pilotes de gran longitud la colocación de la armadura se puede realizar por tramos. En este caso, se debe garantizar la continuidad de las armaduras mediante las oportunas soldaduras. La longitud de cada tramo debe fijarse en función de la pluma de la grúa y de la rigidez de la jaula, para evitar deformaciones permanentes.
- Evitar la deformación de las armaduras, lo que se logra con rigidizadores y/o sustituyendo parte de las ataduras entre las barras por uniones soldadas.



Figura 8.2.2.b B Colocación de armaduras

Se establecerán controles para verificar el cumplimiento de los procedimientos.

• HORMIGONADO

Para el hormigonado se establecerán procedimientos que permitan asegurar que:

- Este limpio el fondo de la perforación antes de iniciar el hormigonado.
- Las características del hormigón -tipo de cemento, áridos, aditivos y dosificación- son las contempladas en el Pliego del Proyecto, requiriéndose, en general, consistencias líquidas según la norma UNE-EN1536: pilotes perforados.
- El hormigonado se realiza a través de tubería, asegurando que el extremo de ésta se sitúa en el interior de la masa de hormigón.
- El hormigonado del pilote se hará sin interrupciones. En los procedimientos se habrá previsto cómo actuar en el caso de que se produzca alguna interrupción, así como la forma de verificar el estado final del pilote.
- Dado que el hormigón de la parte superior es siempre el primero que se vierte, y que arrastra los detritus desde el fondo, es bueno que rebose y vierta por la boca el hormigón contaminado.
- Una vez terminado el pilote se procederá a su descabezado.

8.2.2.c Construcción parcial de la superestructura

Una vez construidos los pilotes se ejecutará aquella parte de la superestructura que no impida la retirada de los rellenos sobrantes. Es conveniente unir las cabezas de los pilotes con vigas, porque a la vez que los arriostran para soportar mejor los empujes de las tierras sirven de soporte para el encofrado inferior del resto de la superestructura.

8.2.2.d Dragado del terreno natural y de los rellenos sobrantes

El dragado del terreno natural y la retirada del material sobrante de la mota se realizará de forma que:

- Se evite golpear los pilotes y la parte de superestructura construida.
- No se creen escalones que puedan provocar la rotura del terreno y producir empujes sobre los pilotes.

Normalmente esta operación se realiza con una draga actuando en el exterior del muelle, y con una grúa con cuchara dragando el material a través de la superestructura.

8.2.2.e Formación y protección del talud

El relleno entre los pilotes y la protección con escollera del talud se debe planificar y ejecutar de manera que no transmitan esfuerzos horizontales no previstos a los mismos. Se controla-

rán los movimientos de las cabezas de los pilotes, los cuales nunca deben ser mayores que los máximos admisibles; para ello se establecerá un sistema de control que permita medir los movimientos de las cabezas de los pilotes.

8.2.2.f Superestructura

En el apartado 9.6 *Superestructura de muelles de pilotes*, se hacen consideraciones al respecto.

En la Figura 8.2.2. se muestran las fases más habituales en la construcción de un muelle de pilotes 'in situ' construidos desde una plataforma terrestre.

8.2.3 Muelles de pilotes “in situ” ejecutados desde equipos flotantes

En la figura 8.2.3. se describen las fases más habituales en la construcción de un muelle de pilotes 'in situ' ejecutados desde medios flotantes.

En este procedimiento constructivo las actividades más específicas se refieren a la construcción de pilotes desde medios flotantes o semiflotantes, a la forma de colocar el relleno entre pilotes, y a la construcción de la superestructura, las cuales se describen a continuación.

8.2.3.a Construcción de pilotes

- Desde equipos flotantes:

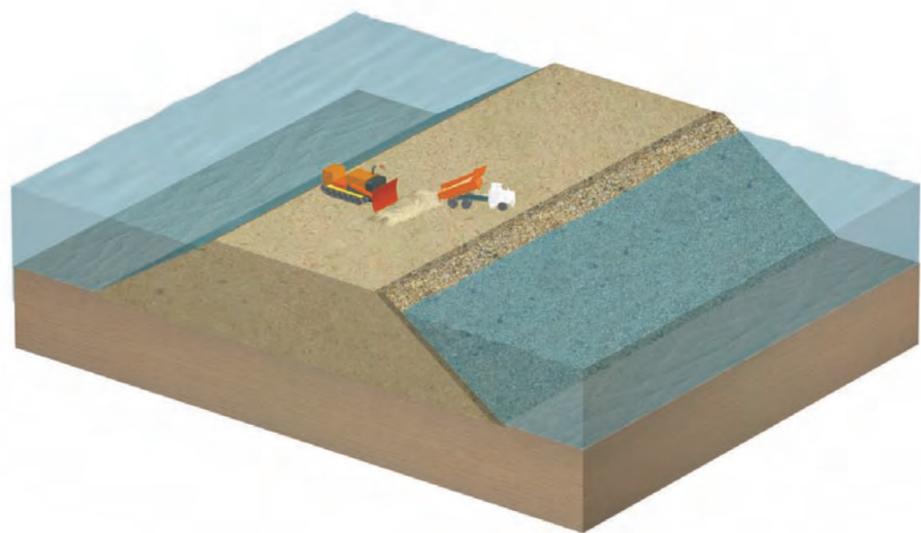
Son procesos que requieren una planificación detallada de determinados aspectos, tales como:

- La situación de los anclajes de las pontonas para que los pilotes, según se van construyendo, no interfieran con los cabrestantes.
- El suministro y la colocación de las camisas y de las armaduras.
- El suministro y la colocación del hormigón, de tal forma que se asegure la continuidad en el hormigonado.
- El sostenimiento de las camisas perdidas o recuperables durante el fraguado del hormigón.

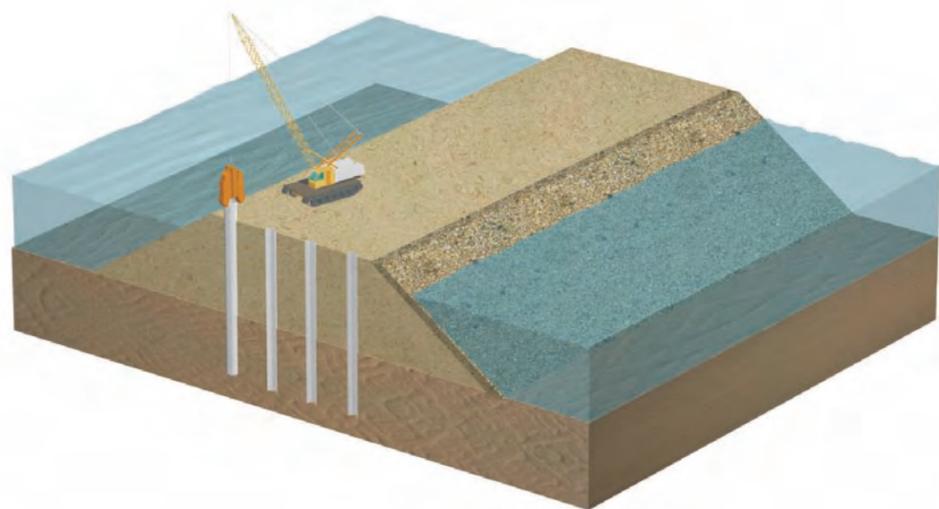
Para cada pilote puede ser adecuado disponer de una camisa recuperable exterior -por lo general robusta con espesor de chapa superior a 12 mm- y una camisa concéntrica perdida -con espesores de chapa de 5 mm ó inferior-. Entre ambas camisas se disponen unos separadores extraíbles, que se retiran cuando el hormigón del pilote que llena la camisa interior tiene suficiente resistencia -en torno a tres días después del hormigonado- para recuperar la camisa exterior una vez retirados los “vientos” que la mantenían.

Ejemplo de construcción de un muelle de pilotes desde un relleno

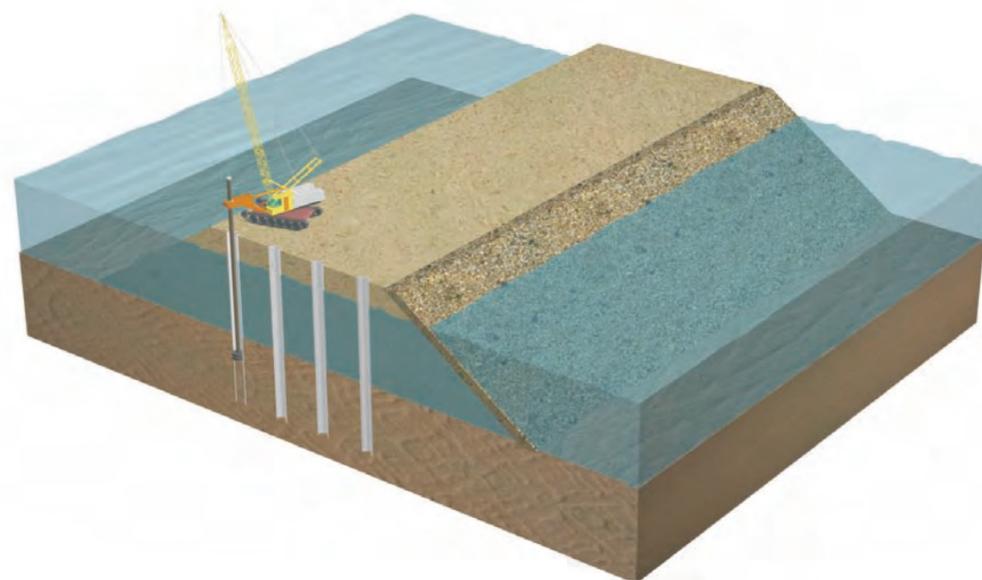
Figura 8.2.2



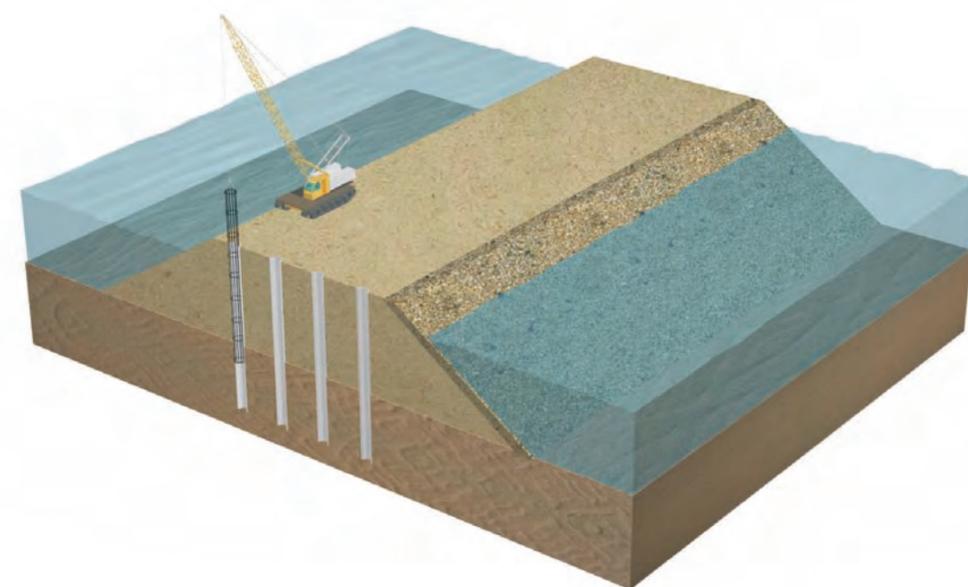
FASE 1. Contrucción de mota de trabajo



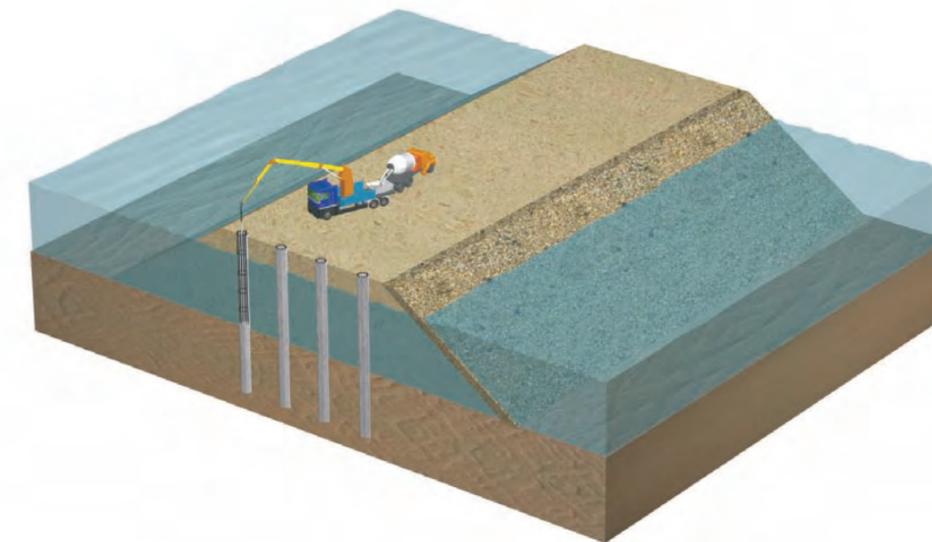
FASE 2. Hince de la entubación



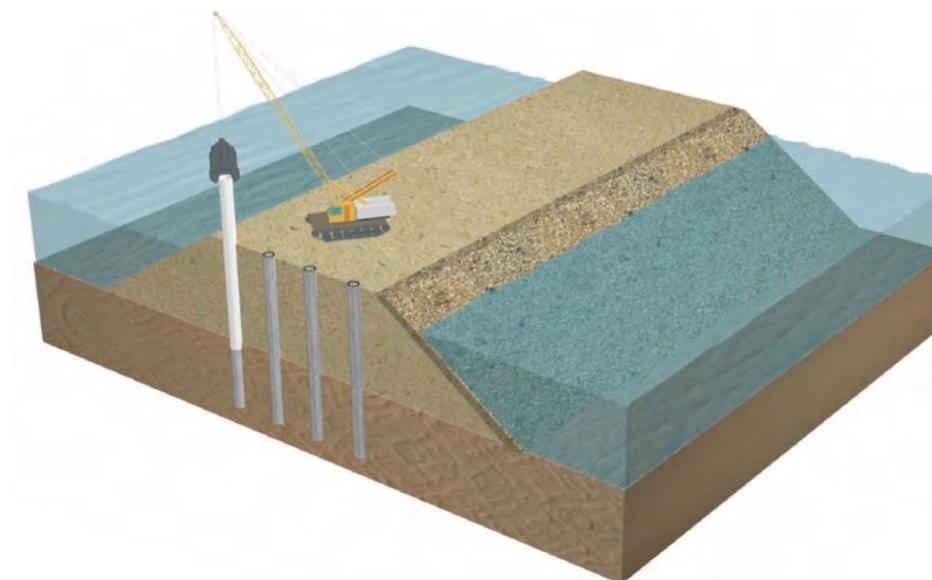
FASE 3. Excavación del pilote



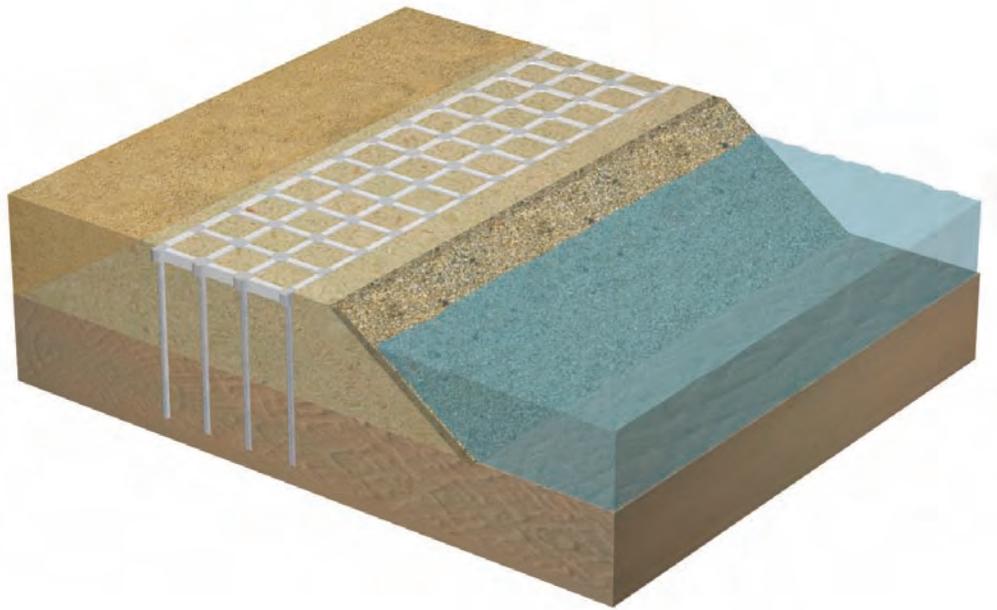
FASE 4. Colocación jaula de armaduras



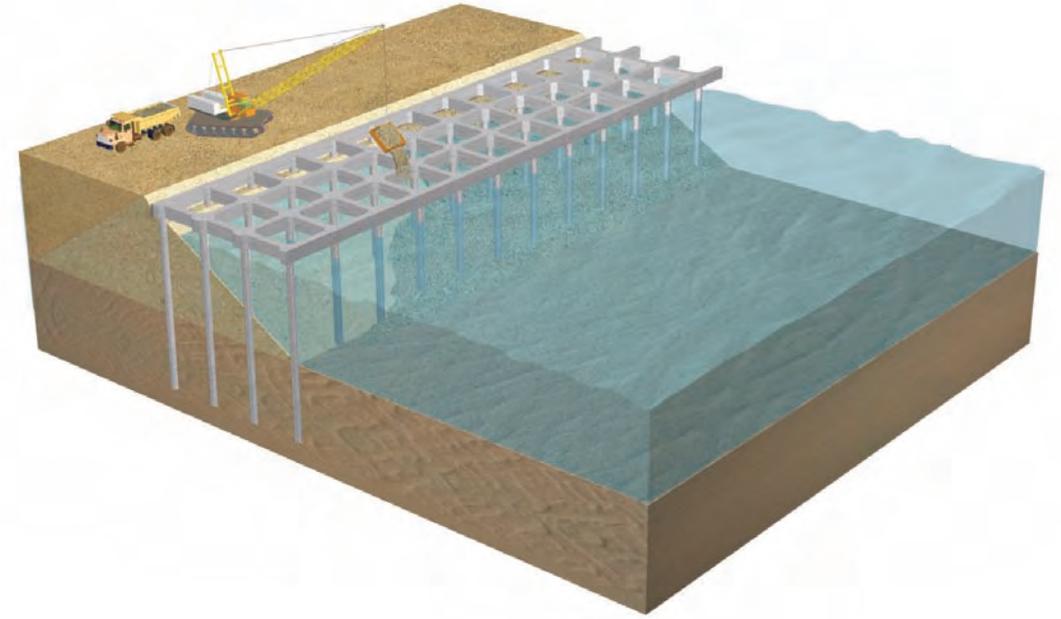
FASE 5. Hormigonado



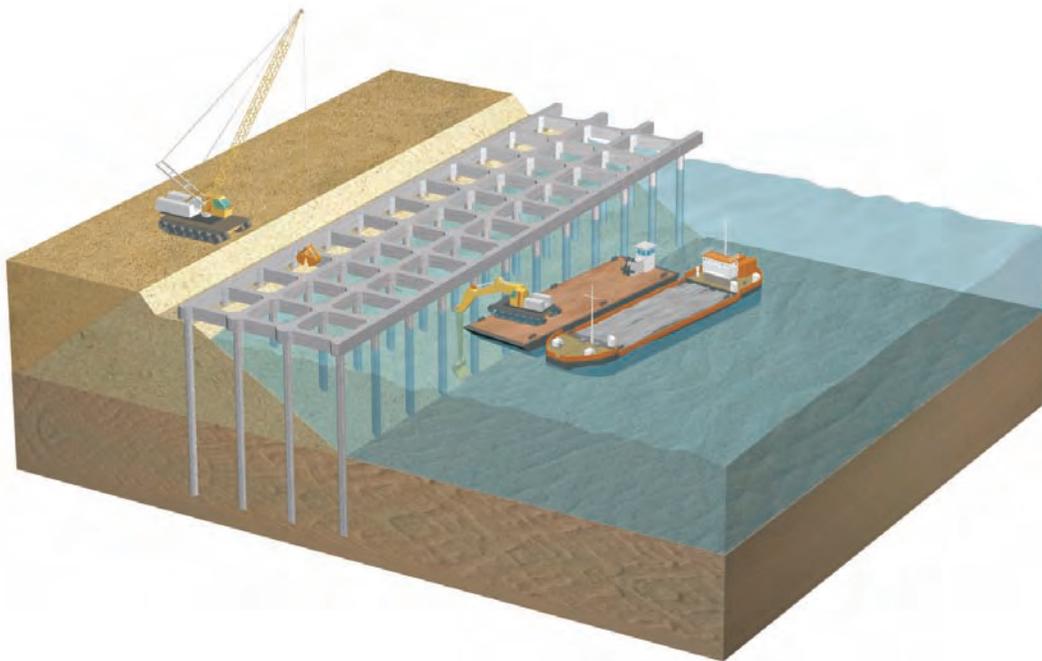
FASE 6. Extracción entubación



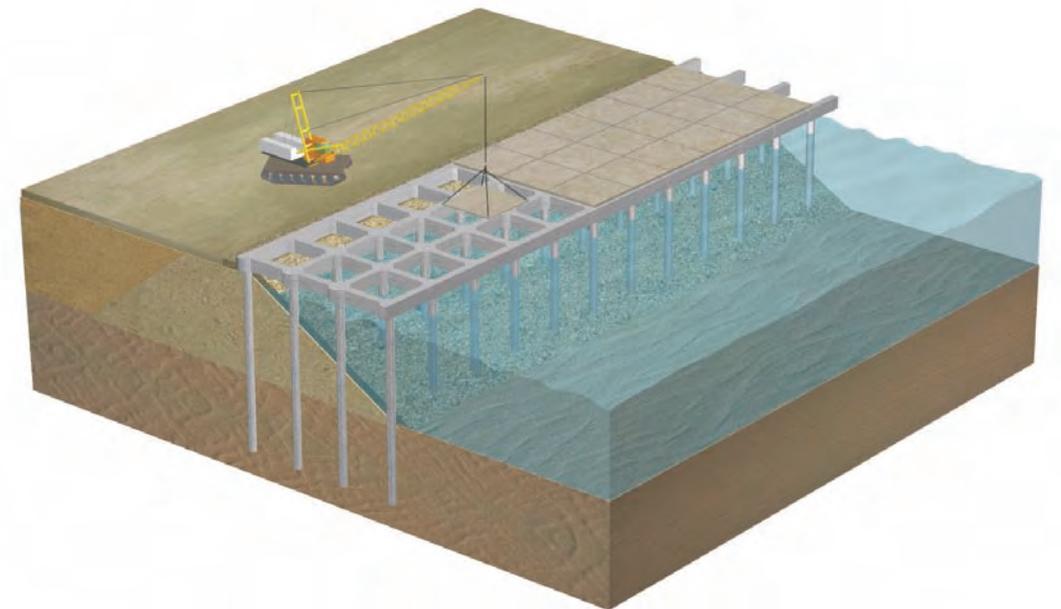
■ **FASE 7.** Descabezado de pilotes y construcción vigas de tablero



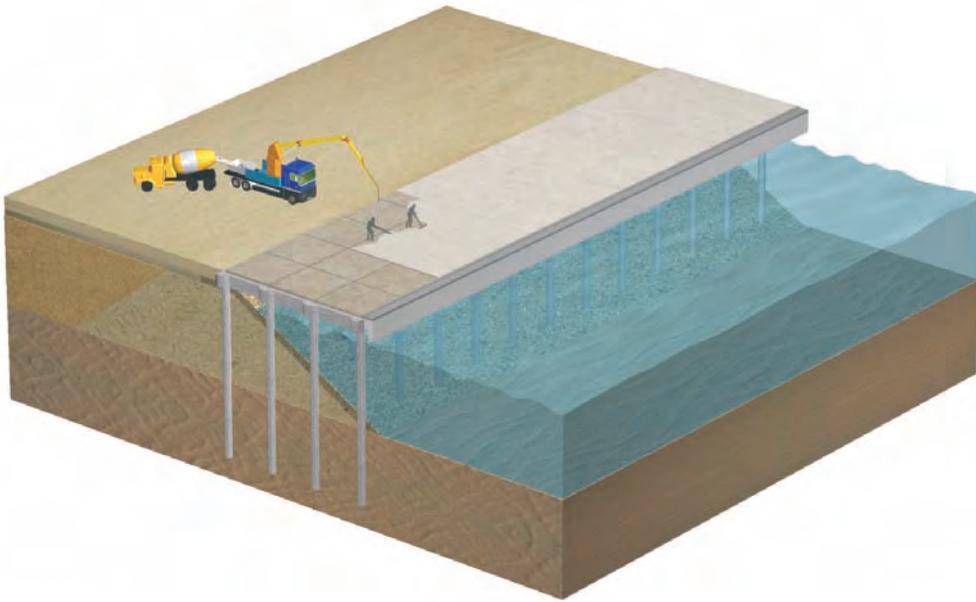
■ **FASE 9.** Protección del talud y del pie con escollera vertida con bandeja



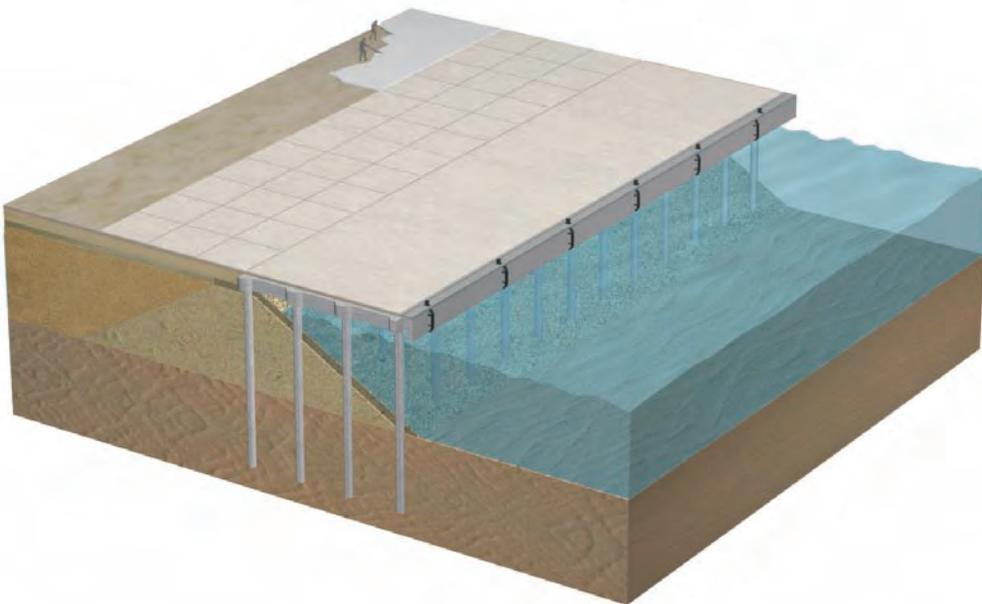
■ **FASE 8.** Dragado y perfilado de talud bajo tablero



■ **FASE 10.** Colocación de prelasas del tablero



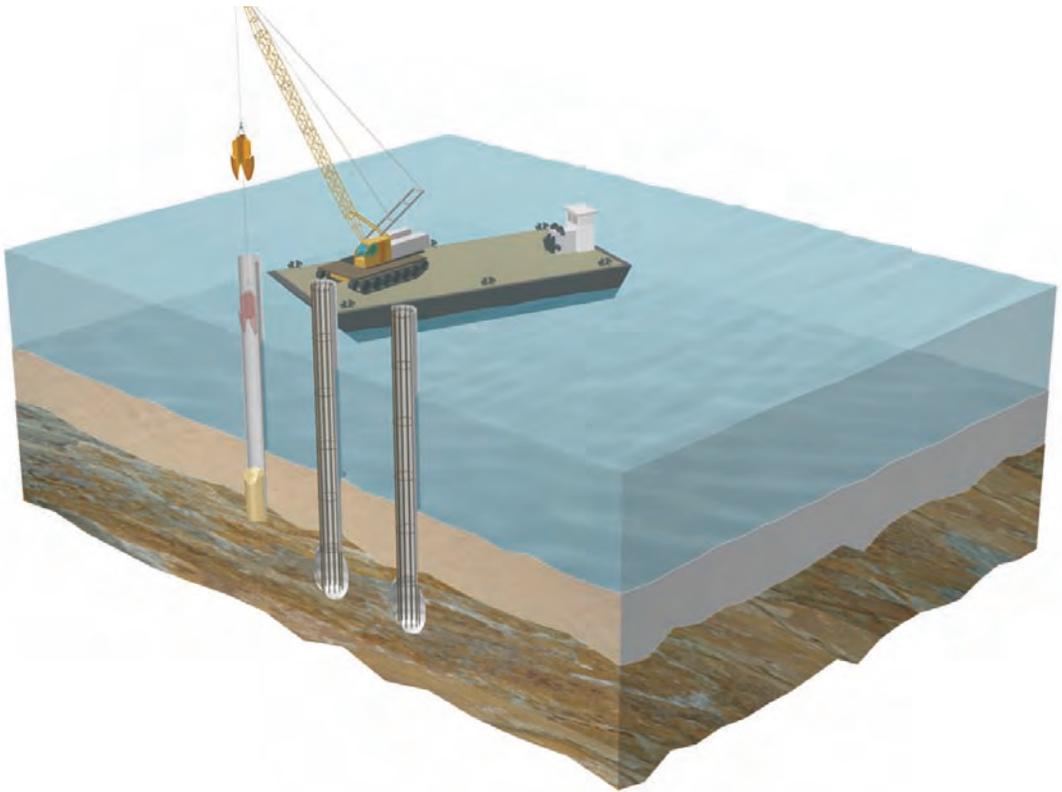
■ **FASE 11.** Hormigonado de superestructura



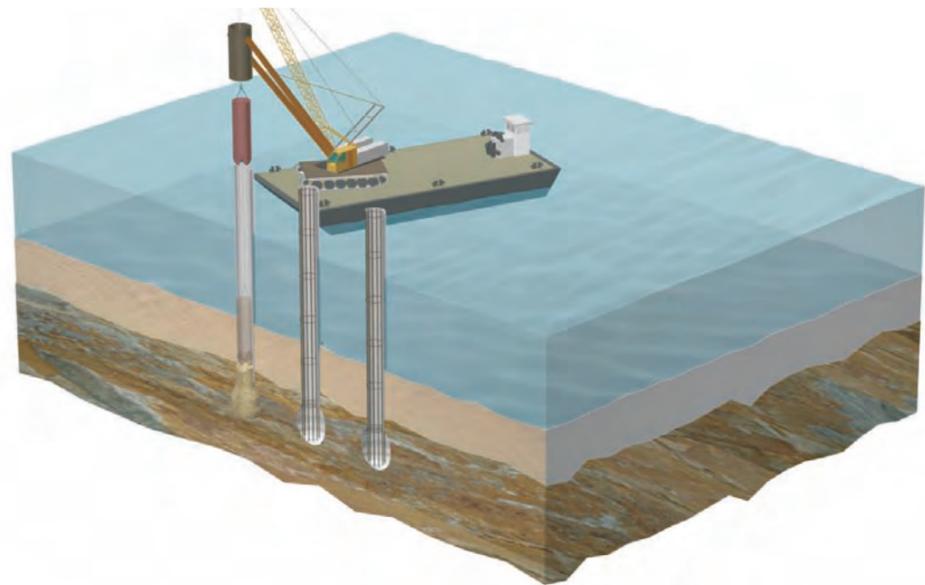
■ **FASE 12.** Colocación de relleno seleccionado y compactado

Ejemplo de construcción de un muelle de pilotes a flote, sobre un fondo marino de arena y roca

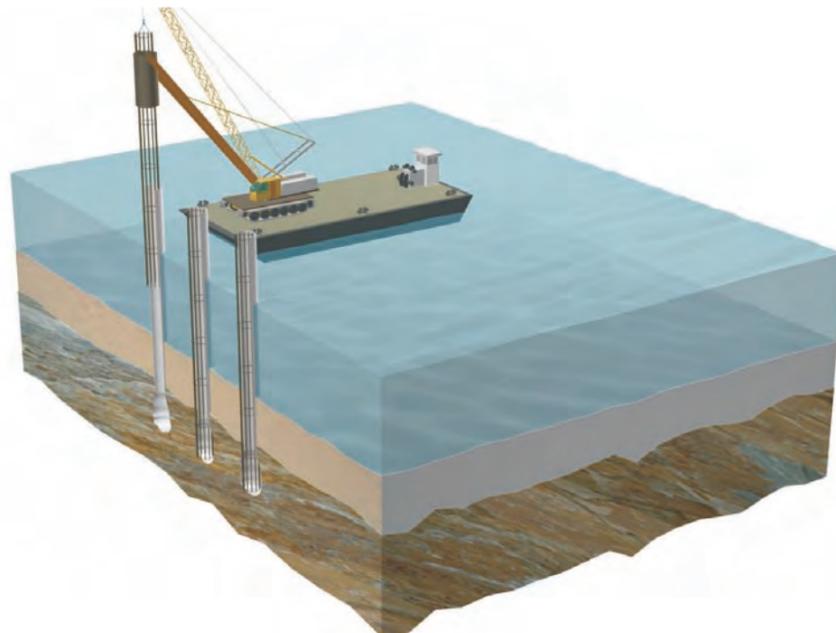
Figura 8.2.3



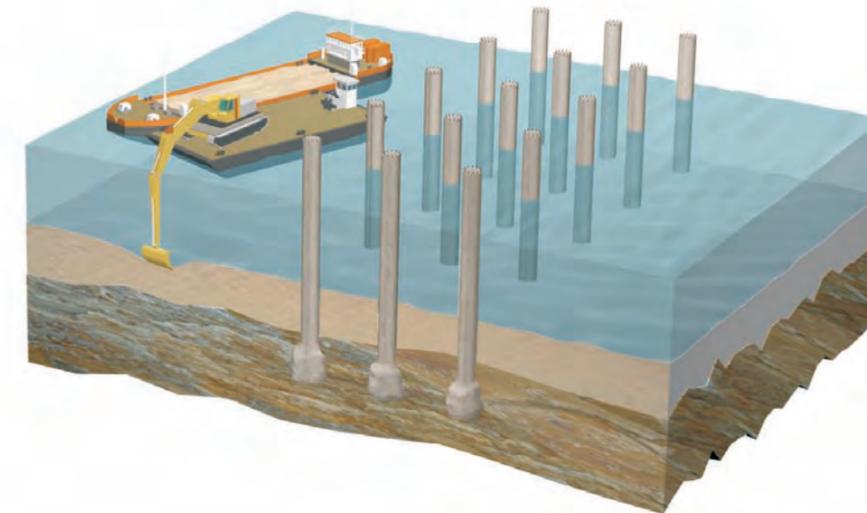
■ **FASE 1.** Hince camisa recuperable hasta apoyo en roca y extracción de materiales



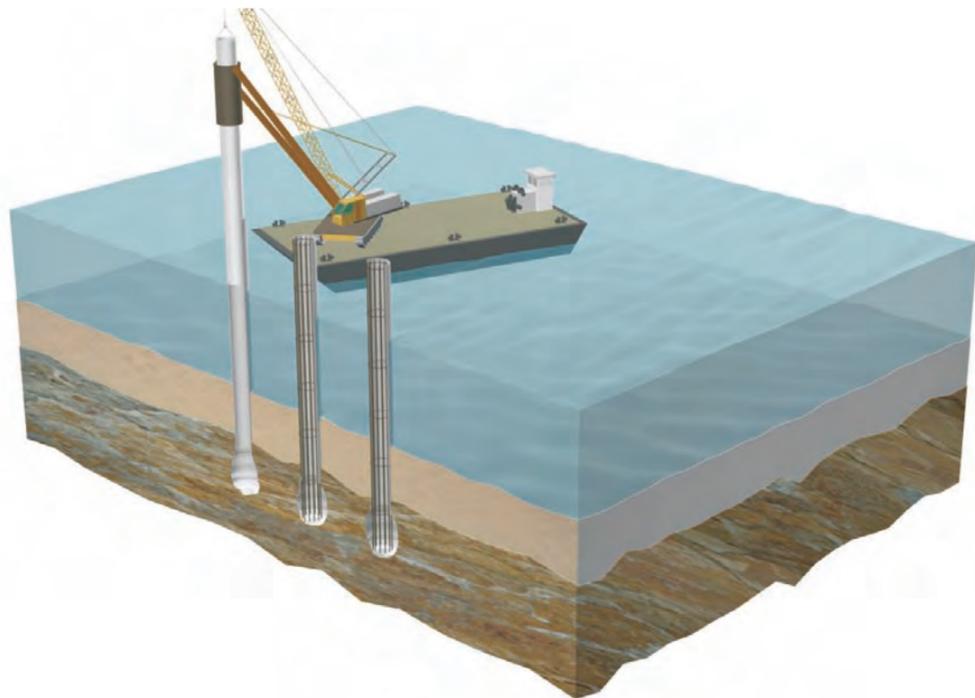
■ **FASE 2.** Excavación en roca con trépano y cuchara



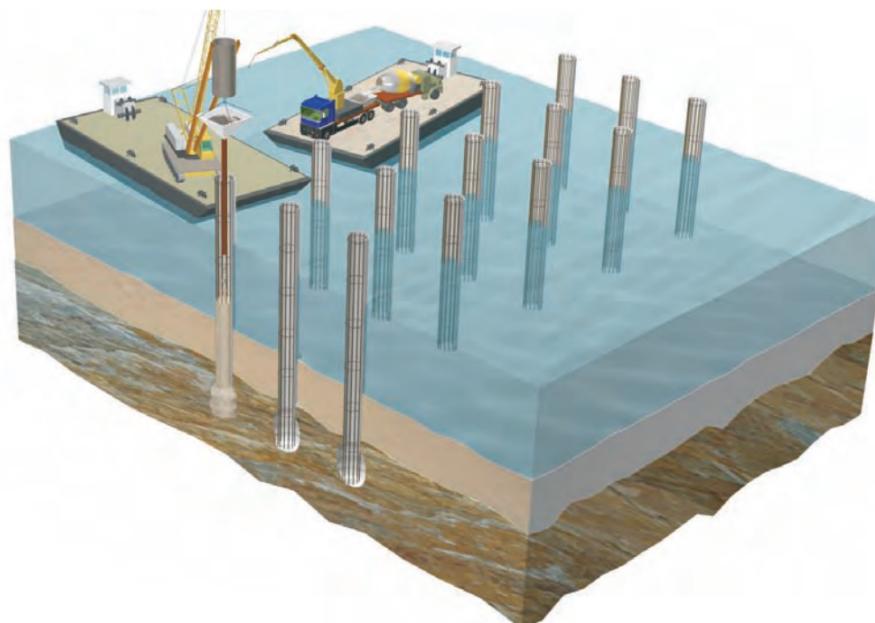
■ **FASE 4.** Colocación armadura de pilote



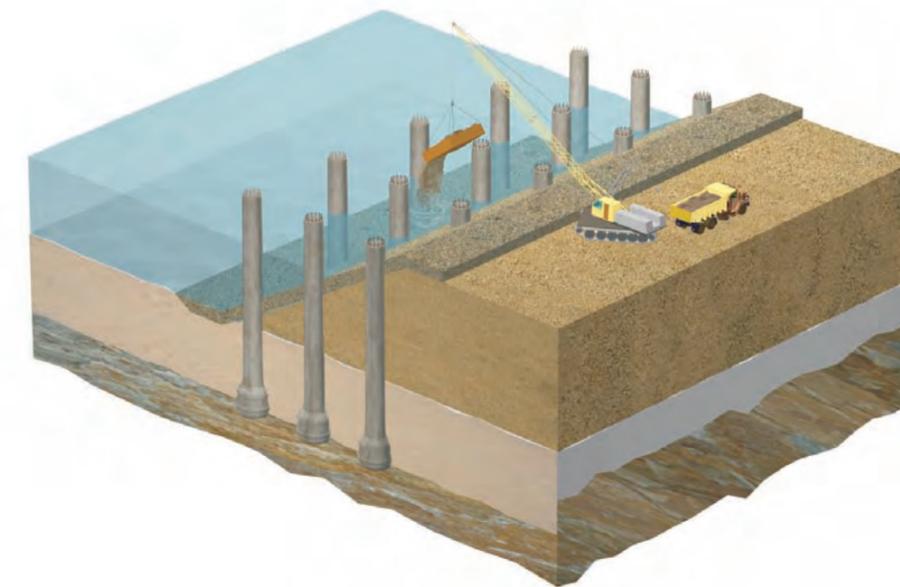
■ **FASE 6.** Ejecución dragado



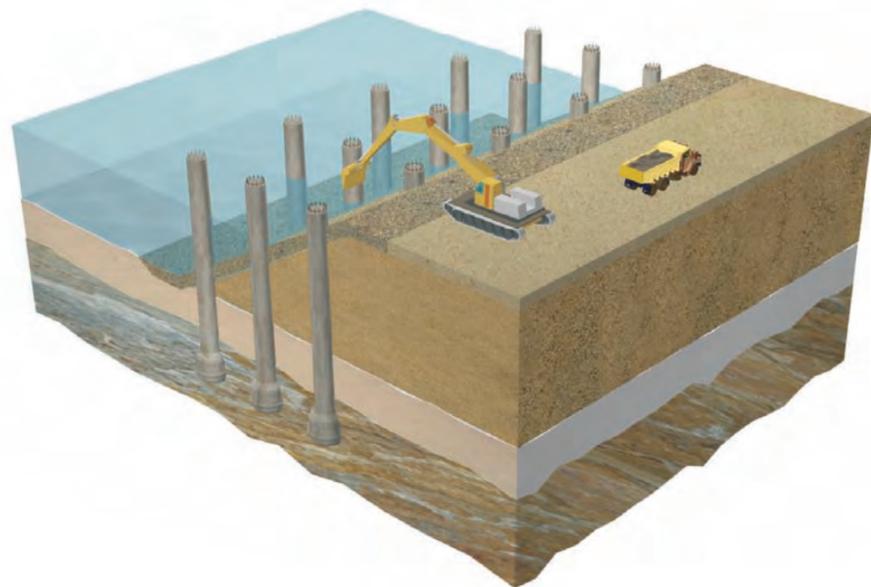
■ **FASE 3.** Colocación camisa perdida



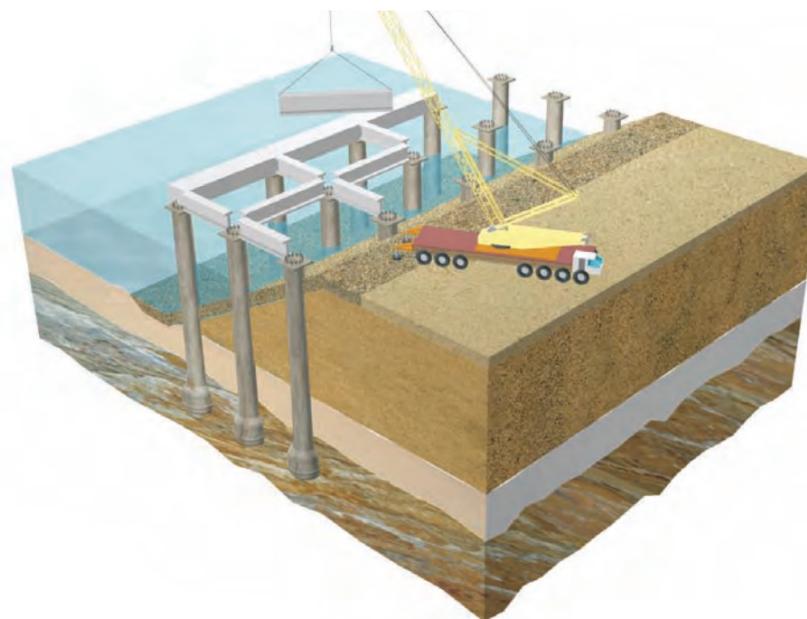
■ **FASE 5.** Hormigonado pilotes con tubo Tremie y recuperación camisa principal



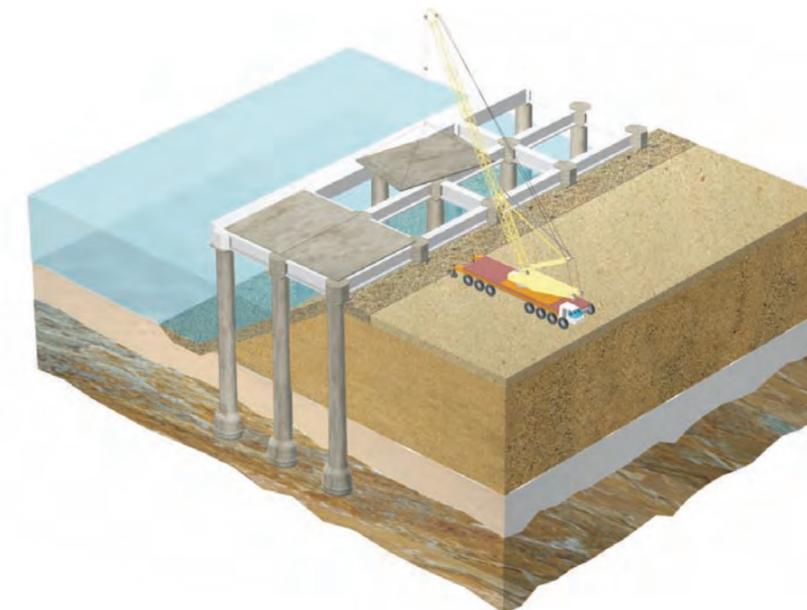
■ **FASE 7.** Perfilado de talud de relleno y protección del talud con escollera vertida con bandeja



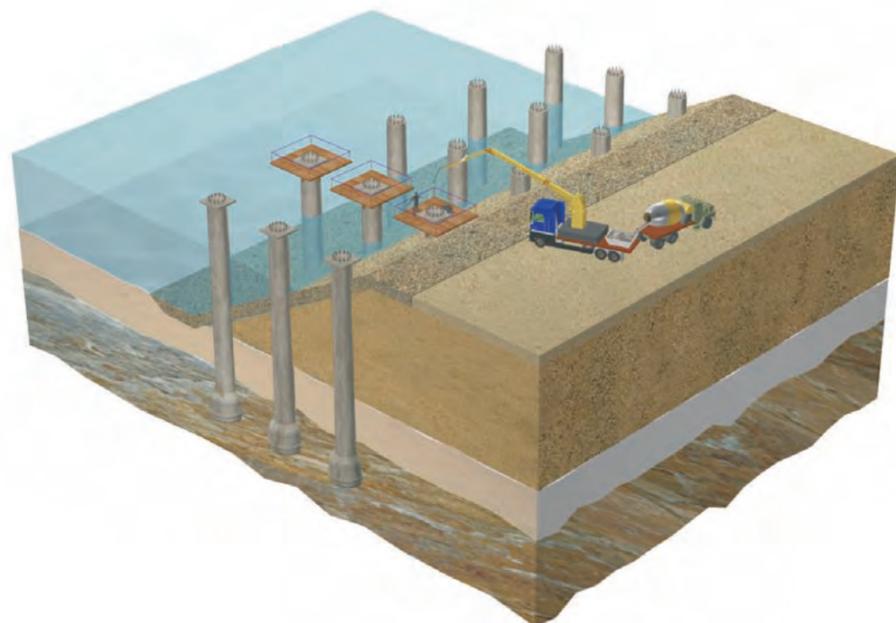
■ **FASE 7.a.** Perfilado del talud de escollera con retroexcavadora



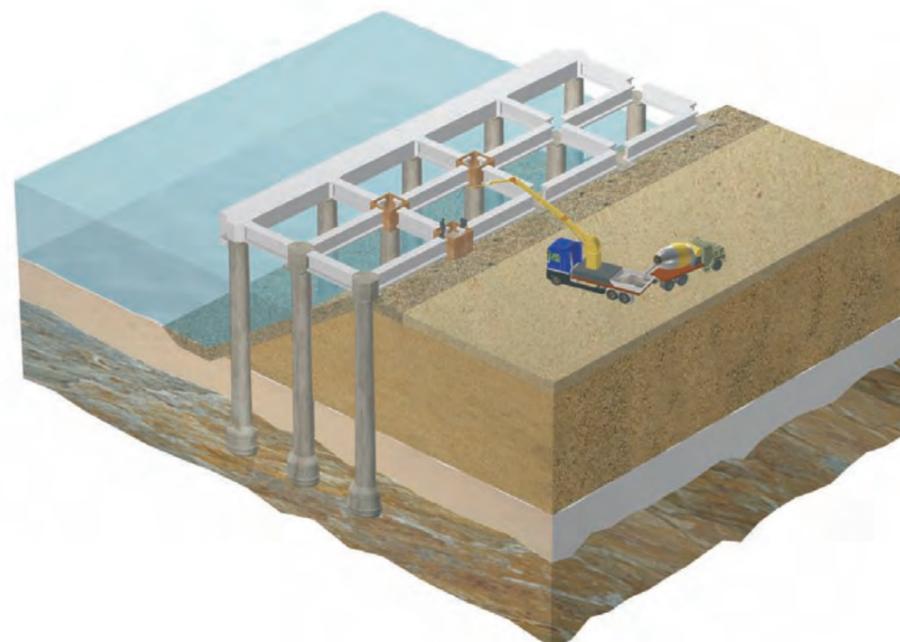
■ **FASE 9.** Colocación vigas sobre capiteles



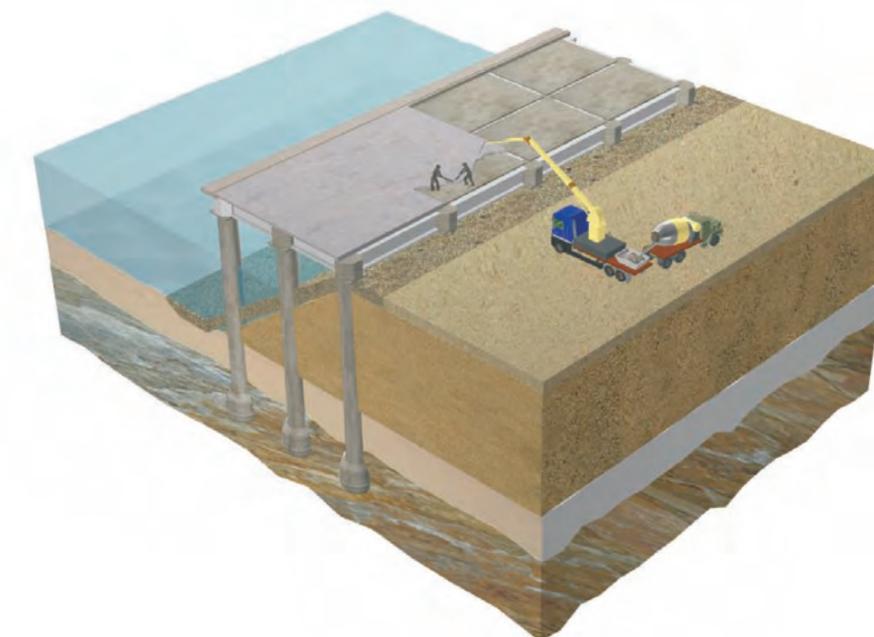
■ **FASE 11.** Colocación prelosas



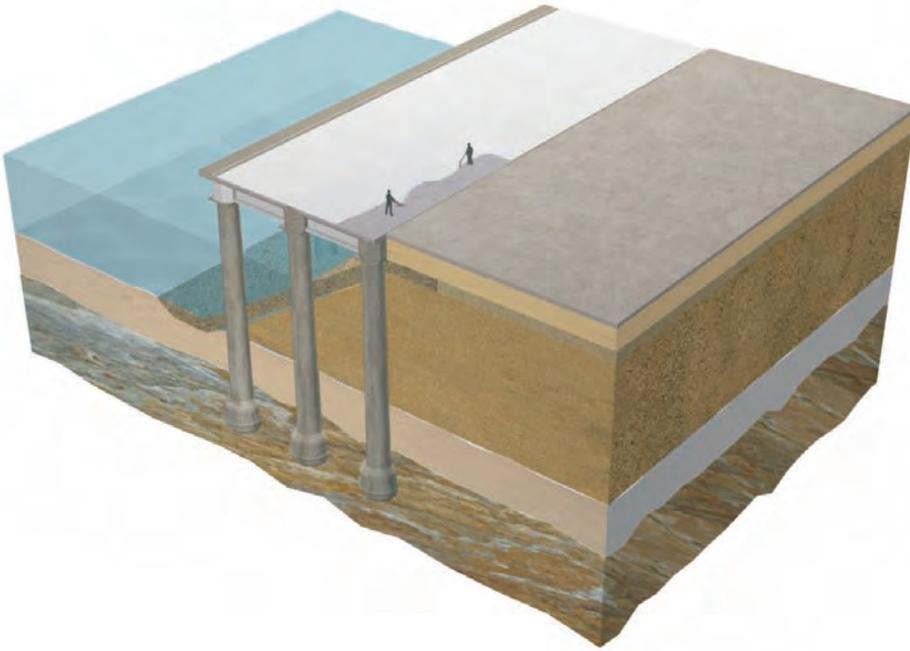
■ **FASE 8.** Ejecución de capiteles



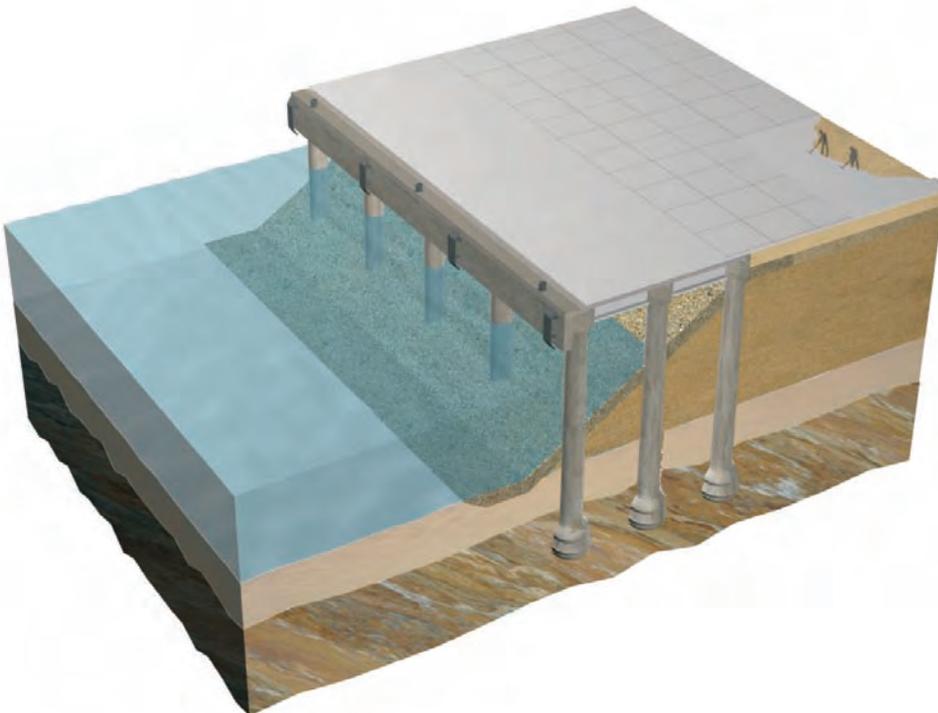
■ **FASE 10.** Hormigonado nudos



■ **FASE 12.** Hormigonado de tablero



■ **FASE 13.** Ejecución pavimentación y habilitación muelle



■ **FASE 14.** Colocación defensas, bolardos, carriles y terminación

- La colocación de las armaduras y el hormigonado se debe realizar teniendo en consideración lo expuesto en el apartado 8.2.2.b *Construcción de los pilotes desde la explanada*.

- Desde equipos semiflotantes:

Los equipos flotantes no son adecuados cuando la zona donde se deben construir los pilotes está sometida a la acción del oleaje y sea necesario trabajar con altura de ola significativa mayor de 0,50 m. En este caso, resultan adecuados los equipos semiflotantes que se apoyan en el fondo mediante patas.

8.2.3.b *Relleno entre pilotes*

El relleno entre los pilotes se debe planificar y ejecutar de forma que:

- No se produzcan esfuerzos horizontales sobre los pilotes por el empuje de los rellenos.
- No se originen deslizamientos del terreno que puedan afectar a los pilotes.
- Se tenga en consideración que las medidas necesarias cuando se deba reducir el efecto del rozamiento negativo sobre los pilotes pueden condicionar la colocación de los rellenos.

Durante la ejecución del relleno se controlará la situación de la cabeza de los pilotes para evitar su desplazamiento por los esfuerzos horizontales a los que están sometidos. Para ello se podrán arriostrar en el sentido transversal y se cuidará de que el vertido del relleno se realice de la forma más homogénea posible.

8.2.3.c *Superestructura*

En el apartado 9.6 *Superestructura de muelles de pilotes*, se hacen consideraciones al respecto.

8.2.4 **Control de la ejecución de pilotes “in situ”**

Los distintos sistemas de construcción de pilotes “*in situ*” tienen establecidos sistemas de control que deben verificar que se cumple que:

- La situación en la que se implanta el pilote es la correcta. En caso contrario, se debe reestructurar el tablero, y si es necesario, con la inclusión de nuevos pilotes.
- La punta del pilote alcanza la profundidad requerida, en caso de duda se puede recurrir a realizar una inyección en la punta del mismo.

- Está limpio el fondo de la excavación antes de iniciar el hormigonado.
- Los aceros de las armaduras son los que el Proyecto contempla.
- El hormigón es el que el Proyecto prescribe en cuanto a tipo de cemento, áridos, aditivos y dosificación.
- La excavación y los eventuales sostenimientos aseguran que se ejecuta la sección prevista.
- No se han producido discontinuidades en el hormigón.

Se cumplimentará un parte de ejecución para cada uno de los pilotes.

Se arbitrarán procedimientos para verificar la continuidad estructural de los pilotes ejecutados.

8.2.5 Muelles de pilotes prefabricados ejecutados desde medios flotantes

A continuación se hace referencia únicamente a aquellas actividades propias para la construcción de pilotes prefabricados. Lo habitual es construir estos pilotes desde medios flotantes, por tanto no se considera la posibilidad de su construcción desde plataforma terrestre.

8.2.5.a Tipos de pilotes

En la construcción de muelles se utilizan los siguientes tipos de pilotes prefabricados:

- PILOTES METÁLICOS: generalmente cilíndricos, con diámetros muy variables que alcanzan los 2 m y grandes longitudes (80 m).
- PILOTES DE HORMIGÓN ARMADO: se fabrican con una gran variedad de secciones (cilíndricas, rectangulares, hexagonales, octogonales, etc.) y normalmente su longitud no supera los 30 m.
- PILOTES DE HORMIGÓN PRETENSADO: se han utilizado con gran profusión en los puertos españoles y habitualmente son cilíndricos con las siguientes dimensiones:
 - Diámetros: entre 0,60 m y 1,80 m.
 - Longitudes: se han alcanzado hasta 60 m.
 - Espesores de pared: entre 0,10 m y 0,15 m.
 - Pretensado: entre 4 MPa y 9 MPa.

8.2.5.b Fabricación de pilotes

El elevado número de tipologías de pilotes prefabricados conlleva una gran cantidad de procedimientos de fabricación. No obstante, se pueden hacer algunas consideraciones de tipo general:

- **PILOTES METÁLICOS:** es frecuente construir en taller tramos de longitud inferior a 12 m, que se transportan por carretera sin necesidad de permisos especiales y que, posteriormente, son unidos en la obra. No obstante, en puertos existentes, pueden ser suministrados por barco desde fábrica con las longitudes pedidas y su tratamiento de pintura ganando en plazo y calidad.
 - Las uniones de tramos realizadas en la obra se someterán a los controles y, en su caso, a rectificaciones para garantizar su calidad.
 - Antes de instalar el pilote en obra se comprobará que las protecciones que pueda tener no han sido dañadas para, en caso contrario, proceder a realizar las oportunas reparaciones.
 - Se tomarán medidas para evitar deformaciones y, cuando sea necesario, se colocarán rigidizadores para evitar su ovalización durante el transporte.

- **PILOTES DE HORMIGÓN ARMADO:** en los procesos de fabricación se observarán los procedimientos que los fabricantes, los diseñadores y/o el Pliego dispongan, en particular en lo referente a:
 - Características del hormigón:
 - Tipo de cemento.
 - Aditivos.
 - Características físico-químicas de los áridos.
 - Dosificaciones.
 - Acero de armaduras:
 - Recubrimiento.
 - Refuerzo de armaduras en la cabeza de los pilotes para soportar los esfuerzos de la hinca.
 - Curado de hormigón.
 - Resistencia: las distintas operaciones que se hacen con los pilotes (manipulación, transporte e hinca) requieren que el hormigón tenga una edad y una resistencia mínimas. Se arbitrarán procedimientos para asegurar que se cumplen estos requerimientos.

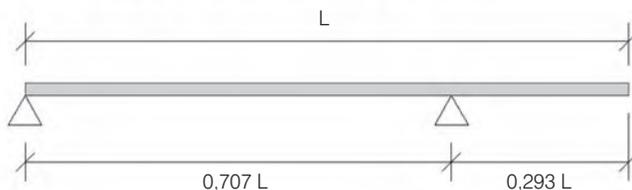
- **PILOTES DE HORMIGÓN PRETENSADO:** Generalmente se construyen uniendo unas secciones de pilote de longitudes, que no suelen ser mayores de 6 m, con cables de pretensado. Son de aplicación los requerimientos que se hacen para los pilotes de hormigón armado y, además, se observarán los correspondientes a las operaciones de tesado e inyección:
 - La geometría de las piezas que forman el pilote estará dentro de la tolerancia.
 - En el proceso de tesado se evitará la concentración no prevista de esfuerzos en el hormigón.

- Se controlarán las tensiones y los alargamientos de todos y cada uno de los cables.
- El procedimiento de inyección de lechada en las vainas donde se alojan los cables y el control del mismo asegurará el completo llenado de éstas.
- La recuperación de los anclajes provisionales de pretensado, si los hubiera, se hará cuando la lechada tenga la resistencia adecuada.
- Se refrentarán las cabezas de hinca.

8.2.5.c Manipulación, transporte y acopio de pilotes

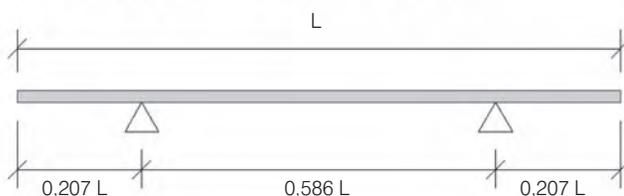
Antes de proceder a la manipulación de los pilotes se verificará que, con el sistema de cuelgue previsto, los esfuerzos de flexión máximos no superan los admisibles. En el esquema 8.2.5.c1 se indican los puntos donde deben suspenderse los pilotes para que los esfuerzos de flexión sean mínimos, tanto si el pilote se suspende por uno o dos puntos.

A. IZADO POR UN PUNTO



$$M = 0,0429 q L^2$$

B. IZADO POR DOS PUNTOS

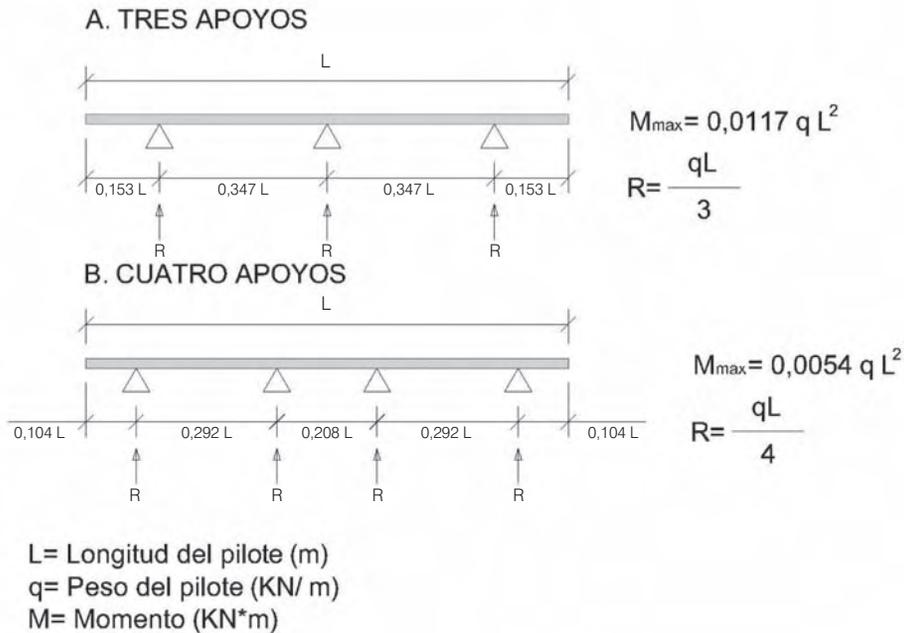


$$M = 0,0214 q L^2$$

L= Longitud del pilote (m)
q= Peso del pilote (KN/ m)
M= Momento (KN*m)

Esquema 8.2.5.c 1 Puntos de suspensión de pilotes

Los pilotes se transportan de forma horizontal apoyados en una serie de puntos. En el esquema 8.2.5.c2 se reflejan los puntos de apoyo bajo la condición de que las reacciones sean iguales en todos ellos, indicándose también el valor del momento máximo.



Esquema 8.2.5.c 2 Puntos de apoyo de pilotes

Los esfuerzos inducidos en los pilotes durante el transporte tienen, además de la componente estática, una componente dinámica producida por la amortiguación de los equipos de transporte. Es conveniente realizar un cálculo dinámico de dichos esfuerzos y, a falta del mismo, se recomienda mayorar los esfuerzos estáticos por 1,5.

El acopio de los pilotes se realizará de forma que:

- Los esfuerzos en los pilotes sean admisibles.
- El terreno por efecto de la carga no tenga deformaciones que puedan afectar a la integridad del pilote.
- Se puedan retirar los pilotes en el orden en que sean requeridos.

Durante la manipulación de los pilotes para su hincia, tanto el(los) punto(s) de los que se suspenden para el izado como la forma de amarre se diseñarán de forma que al finalizar la operación el pilote quede suspendido en la posición en la que debe ser colocado.

8.2.5.d Colocación de pilotes

Cuando los pilotes van colocados a modo de pilas en alojamientos practicados al efecto en zapatas o bien en perforaciones realizadas en el terreno, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Colocar los pilotes con la longitud necesaria evitando cortarlos una vez colocados.
- Rellenar el hueco que queda entre el pilote y el alojamiento para asegurar el correcto empotramiento. Cuando los pilotes son huecos el interior de los mismos se debe rellenar de hormigón en la zona en que estén empotrados.
- Es práctica recomendable rellenar con grava los pilotes metálicos, lo que disminuye la posibilidad de que se produzcan abolladuras.
- Balizar los pilotes instalados para evitar accidentes.

8.2.5.e Hinca de pilotes

No es objeto de esta Guía describir los procedimientos de hinca dado el elevado número de tipos de pilotes, de martillos y de equipos de guiado existentes en el mercado y que tienen establecidos las empresas especializadas. A pesar de ello, se realizan algunas consideraciones generales:

- Esfuerzos en el pilote por maniobras de guiado: durante la hinca las maniobras para guiar el pilote se deben hacer de forma que no se produzcan esfuerzos superiores a los admisibles. A tal fin, previamente se calcularán los esfuerzos en los pilotes durante las distintas maniobras y durante su colocación para la hinca se controlarán los esfuerzos en el pilote midiendo las deformaciones del mismo topográficamente o instalando extensómetros.
- Esfuerzos de hinca: durante la hinca de los pilotes (figura 8.2.5.e A) se producen esfuerzos de compresión en los mismos, alcanzando valores que pueden ser importantes según cuál sea el procedimiento empleado:



Figura 8.2.5.e A Hinca de pilotes con cabria

- Con martillos de simple efecto se pueden llegar a registrar compresiones muy importantes por el golpeo de la maza. No es conveniente continuar la hinca una vez que se alcance el rechazo requerido dado el riesgo de producir daños e, incluso, llegar a causar la rotura del pilote.
- Con martillos de doble efecto, las compresiones que se transmiten al pilote durante la hinca son menores. No obstante, pueden llegar a comprometer la integridad del pilote si se suman a las provocadas por las maniobras de guiado.
- Con martillos vibradores (figura 8.2.5.e B), o cuando se hinca por la acción de lanzas de agua, los esfuerzos de compresión son muy ligeros o nulos. Sin embargo la vibración del terreno puede inducir asentamientos en estructuras con cimentación directa cercanas a la zona de hinca.

Durante la hinca se pueden registrar esfuerzos de tracción, que son importantes en el caso de terrenos con poca resistencia a la penetración de los pilotes. Estos esfuerzos de tracción debidos a la hinca, superpuestos en su caso a los de manipulación, pueden llegar a producir la rotura de pilotes de hormigón armado o con pretensado ligero.



Figura 8.2.5.e B Hinca de pilote metálico con martillo vibrador

- Esfuerzos producidos por el agua: si los pilotes están parcial o totalmente sumergidos durante la hinca pueden aparecer esfuerzos por las siguientes causas:
 - Cuando la cabeza del pilote está sumergida y el diseño del proceso de hinca no lo ha tenido en cuenta, el golpeo del martillo puede provocar una onda de presión en el agua que llena el interior del pilote, superior a la que éste puede resistir.

- En pilotes con tapón de punta (previo o formado durante la hinca) para penetraciones por golpe de gran magnitud -superiores a 1 cm- el movimiento del agua en el interior del pilote (desfasado con el del pilote) puede producir importantes aumentos de presión y la rotura del pilote. Para evitarlo se establecerán medidas paliativas como, por ejemplo, disminuir la energía de hinca y, consecuentemente, la penetración por cada golpe.
- Secuencia de hincado: se planificará el orden de hinca de los pilotes teniendo en consideración que:
 - Los pilotes ya hincados no impidan las maniobras que los equipos tienen que realizar para hincar los restantes.
 - El acceso de los equipos para los empalmes y/o rehinka de los pilotes sea posible en caso de ser necesario.
 - La reparación o sustitución de un pilote por rotura o hinca defectuosa puede condicionar la secuencia.
- Balizamiento: se redactará un proyecto de balizamiento que se someterá a la aprobación de la Autoridad Marítima correspondiente, el cual contemplará la instalación y las modificaciones del balizamiento de los pilotes en función del avance de la obra.
- Afecciones: La hinca de pilotes puede provocar la compactación de los terrenos adyacentes que pueden registrar asentos y aumentar, en su caso, los empujes sobre muros.

8.2.5.f Control de la hinca

Durante la hinca de todos los pilotes se registrarán los controles en un parte que contendrá, entre otra, la siguiente información:

- Coordenadas del punto donde se hinca el pilote.
- Identificación del pilote para permitir la trazabilidad del proceso de fabricación.
- Fecha y hora del comienzo y del final de la hinca.
- Gráfico de la hinca, relacionando el número de golpes y las profundidades alcanzadas.
- Coordenadas del punto donde queda hincado el pilote.
- Incidencias.

Se recomienda que en el impreso donde se confecciona el parte de hinca, esté reflejada la columna estratigráfica más representativa del terreno donde se hinca cada pilote para poder prever su comportamiento.

Cuando sea necesario recabar mayor información del proceso de hinca, se instrumentará el pilote para poder medir de una manera continua la magnitud de determinados parámetros en función de los equipos utilizados (deformaciones, aceleraciones de la onda, etc.). Éstos, una vez procesados, mediante el analizador de hinca, facilitan los datos sobre tensiones en

los pilotes y la capacidad portante de los mismos. A este respecto, cabe señalar que se han conseguido resultados satisfactorios instrumentando el 10% de los pilotes.

La calibración de la instrumentación y la correlación entre el comportamiento del pilote durante la hincada, y el que tendrá una vez hincado, se pueden establecer con la realización de pruebas de carga (figura 8.2.5.f)



Figura 8.2.5.f Prueba de carga

8.3 MUELLES DE PANTALLA

8.3.1 Definición

Este tipo de muelles son estructuras formadas por una pantalla que transmite la cargas al terreno natural mediante su empotramiento en el mismo, y a su trasdós mediante un sistema de anclaje. En la Figura 8.3.1 se identifican los elementos más característicos de este tipo de muelles.

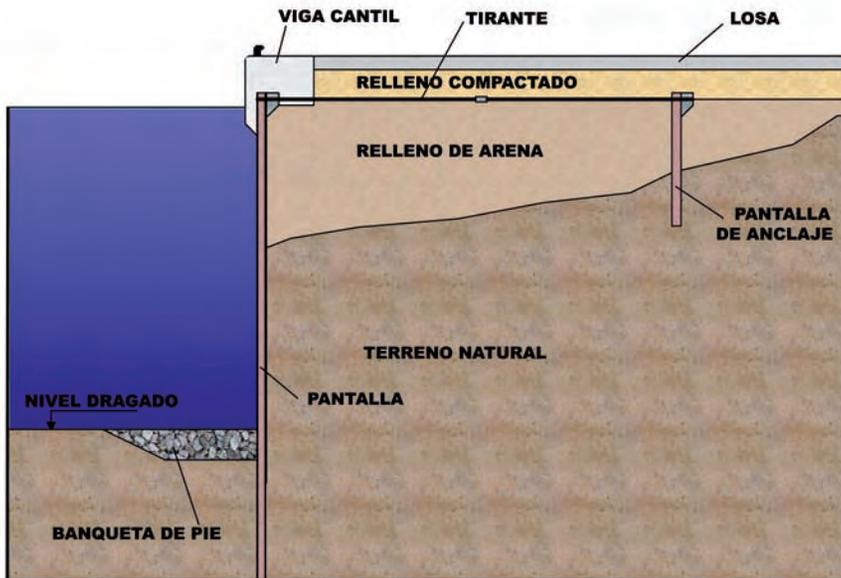


Figura 8.3.1 Sección muelle de pantalla

El anclaje puede estar constituido por una pantalla trasera o bien por una viga de hormigón dispuesta para ese fin.

Los paramentos de estos muelles están generalmente constituidos por:

- Tablestacas metálicas.
- Pantallas de hormigón.

8.3.2 Muelles de tablestacas

Los muelles con pantallas de tablestacas son adecuados en terrenos granulares y que presenten facilidad para su instalación mediante hinca.

La hinca de tablestacas no es viable, o presenta grandes dificultades, cuando hay que atravesar terrenos muy consolidados o con grandes bolos o escolleras. Sin embargo, algunas veces, por ejemplo en el cierre con muelles existentes, es necesario atravesar una banqueta de escollera. En estos casos se recomienda la hinca de perfiles con una inercia adecuada a la operación a realizar, y en todo caso, con un azuche reforzado en punta.

La hinca de las tablestacas, como ocurre con los pilotes, puede realizarse desde una plataforma construida al efecto (FIGURA 8.3.2) o desde equipos flotantes. En el primero de los casos las actividades que se realizan son todas o alguna de las siguientes:

- Dragado del terreno natural. Esta actividad, cuando se realiza, normalmente tiene por objeto realizar una mejora de terreno por sustitución.
- Mejora del terreno de cimentación. Actividad alternativa o complementaria de la anterior.
- Relleno de una mota con anchura suficiente para poder hincar las tablestacas.
- Hincia de la tablestaca desde la mota.
- Construcción de la explanada en una anchura mínima que permita la colocación del anclaje.
- Anclaje de la pantalla de tablestacas.
- Dragado del terreno natural por delante de las tablestacas y de los rellenos sobrantes.
- Protección del pie de las tablestacas con escollera.
- Construcción de la superestructura y habilitación del muelle.



Figura 8.3.2 Hincia de tablestacas desde plataforma terrestre

Cuando las tablestacas se hincan desde medios flotantes las actividades que se realizan son todas o alguna de las siguientes:

- Dragado del terreno natural si está contemplado en el Proyecto, normalmente debido a una mejora de terreno por sustitución.
- Mejora del terreno de cimentación si está contemplado en el Proyecto.
- Hincia de las tablestacas desde medios flotantes.
- Relleno del trasdós de las tablestacas hasta el nivel de anclaje.

- Colocación de anclajes y relleno hasta cota de coronación de muelle.
- Dragado del terreno natural por delante de las tablestacas, en caso necesario.
- Protección del pie de las tablestacas con escollera.
- Construcción de la superestructura (tablero del muelle) y habilitación del mismo.

8.3.3 Muelles de tablestacas construido desde una plataforma terrestre

8.3.3.a Dragado

En ocasiones, el Proyecto contempla el dragado de suelos que no son aptos para servir de soporte al muelle y que tienen que ser sustituidos. Siendo de aplicación las consideraciones recogidas en el apartado 6.1 *Dragados*.

8.3.3.b Mejora del terreno

Cuando el Proyecto lo contemple se realizarán las actividades de mejora del terreno para lo que son de aplicación las consideraciones recogidas en el Capítulo 6.3 *Mejora de terrenos*.

8.3.3.c Relleno de la explanada

La explanada que se rellena, en primer lugar, para formar una plataforma de trabajo para hincar las tablestacas pasará posteriormente a formar parte del muelle, lo que obliga a:

- Verificar, en el caso de que se hubieran realizado dragados o trabajos para la mejora del terreno, que no se han depositado terrenos inadecuados.
- Asegurar que el material que se utiliza para el relleno satisface las especificaciones del Pliego para aquellos materiales que van a formar parte de los rellenos definitivos.

8.3.3.d Tipos de tablestacas

Se utilizan una gran variedad de tablestacas tanto metálicas como de hormigón. Los perfiles metálicos más utilizados como tablestacas son los Z, U, I ó II. La combinación de distintos perfiles de tablestacas entre sí da lugar a una gama variada de soluciones de pantallas.

Las tablestacas se reciben y acopian en obra. En función de su inercia y de la forma de manipulación hay que considerar que existe riesgo de deformaciones plásticas.

En el acopio deberá protegerse sobre todo las juntas de unión y guiado de las tablestacas.

8.3.3.e *Martillos*

Los martillos que se utilizan para hincar tablestacas pueden ser de uno de los siguientes tipos:

- Martillos diesel de doble efecto. La capacidad de hincas es alta en relación con el peso del martillo. Tienen una eficacia alta con la frecuencia de golpeo para la que están diseñados, disminuyendo de forma significativa si se varía ésta.
- Martillos de simple efecto. Consisten en una maza que se eleva y se deja caer sobre una pieza que apoya sobre la tablestaca. La elevación de la maza se puede hacer mediante:
 - Cable accionado por un cabrestante.
 - Hidráulicamente.
 - Aire comprimido.
 - Vapor.

Cuando se opera adecuadamente se consiguen eficacias entre el 75% y el 80%. En el mercado existen martillos de tamaño muy variable: en los mayores el peso de la maza llega a 200 kN y la altura de caída 3,4 m. La frecuencia se sitúa en torno a 40 golpes por minuto.

- Martillos de doble acción, tanto hidráulicos como accionados por aire comprimido.
- Martillos vibratorios. En general tienen una frecuencia entre 800 y 1.800 rev/min (algunos martillos tienen la posibilidad de regular la frecuencia), y los últimos martillos de alta frecuencia alcanzan las 3.000 rev/min, produciendo una fuerza centrífuga de 500 kN. Como orden de magnitud, la fuerza centrífuga F (kN), adecuada para hincar una tablestaca con un peso de P (N) a una profundidad de h (metros) es del orden de:

$$F = 15(h + 1,8 P) / 100$$

- Hincas por presión. Se hincan las tablestacas con un gato hidráulico soportando la reacción las tablestacas ya hincadas.

8.3.3.f *Hinca de tablestacas*

Los equipos de hincas de tablestacas pueden alcanzar altos rendimientos, ya que la hincas de una tablestaca se puede completar en escasos minutos. Las operaciones auxiliares son, por tanto, determinantes de los rendimientos:

- Colocación de las guías (figura 8.3.3.f).
- Suministro de tablestacas.
- Instalación de sombreretes o sufrideras en caso de que la hincas sea por percusión.

- Colocación de los perfiles para los anclajes.
- Corte de los sobrantes.



Figura 8.3.3.f Guía de tablestacas

Los procedimientos de ejecución y los sistemas de control que se adopten deben asegurar:

- El acceso y la evolución de las máquinas. Se debe disponer del espacio necesario para realizar las maniobras de descarga, elevación e hincado de los perfiles.
- La correcta situación en planta de la tablestaca.
- La hincado hasta la cota y/o estrato previsto en el Proyecto.
- La correcta colocación de los perfiles para los anclajes.
- La adecuada conexión entre las tablestacas.

Si la hincado se realiza por vibración, deberá tenerse en cuenta que las vibraciones pueden dañar instalaciones o estructuras cercanas. Para disminuir este efecto se usarán vibradores de alta frecuencia.

8.3.3.g Anclajes y rellenos

Los tirantes con los que se anclan las tablestacas, la conexión con las mismas, su puesta en tensión y el relleno de tierras (figuras 8.3.3.g A, B y C) en el que quedan sumidos constituyen la parte más delicada de los muelles de tablestacas y deben ser ejecutados con estricta ob-

servancia de las prescripciones de los Pliegos y de los procedimientos establecidos por los fabricantes. En particular se destaca que:

- Antes de iniciar la compactación de los terrenos, los anclajes requieren una tensión entre el 5% y el 10% de la tensión nominal para controlar las deformaciones en el cantil del muelle.
- Se pondrá especial atención en la elección del material de relleno en contacto con los anclajes y en su forma de ejecución para no producir daños en ellos.



Figura 8.3.3.g A Pantalla de tablestacas



Figura 8.3.3.g B Anclajes



Figura 8.3.3.g C Relleno

8.3.3.h Dragado del terreno natural y rellenos sobrantes

El dragado de los rellenos sobrantes y en su caso del terreno natural se realizará cuando la pantalla de tablestacas esté anclada.

8.3.3.i Superestructura

La construcción de la superestructura se iniciará después de que los anclajes hayan entrado en carga, ya que la entrada en carga de los anclajes va acompañada de unas deformaciones que pueden producir fisuras o roturas en la superestructura.

Son de aplicación las consideraciones que se hacen en el capítulo 9 *Superestructura de diques y muelles*.

En la Figura 8.3.3. se muestran las fases más habituales en la construcción de un muelle de tablestacas construido desde una plataforma terrestre.

8.3.4 Muelles de tablestacas contruidos desde equipos flotantes

Hincar las tablestacas con medios marítimos (flotantes o semi-flotantes) evita la realización de rellenos y posterior retirada de los materiales Figura 8.3.4. A).

Las tablestacas y los martillos que para su hincia se utilizan son los mismos que cuando los trabajos se realizan desde tierra.

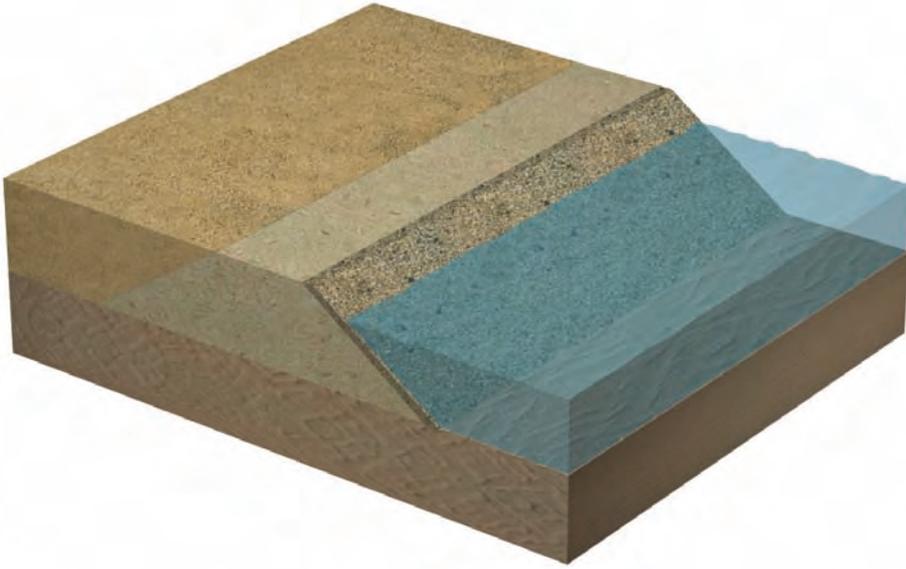


Figura 8.3.4. A *Hinca de tablestacas con medios marítimos*

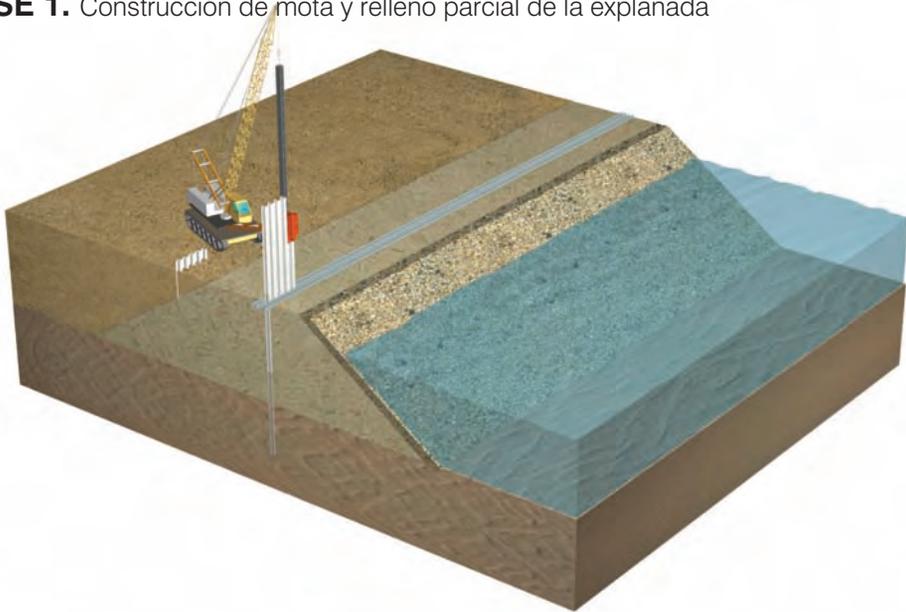
Cuando la pantalla se hinca con medios flotantes (figura 8.3.4. B), es necesario verificar las condiciones de estabilidad de la pantalla en función del nivel de relleno en su trasdós, y las condiciones de sustentación de la misma.

Ejemplo de construcción de un muelle de tablestacas construido desde una plataforma terrestre

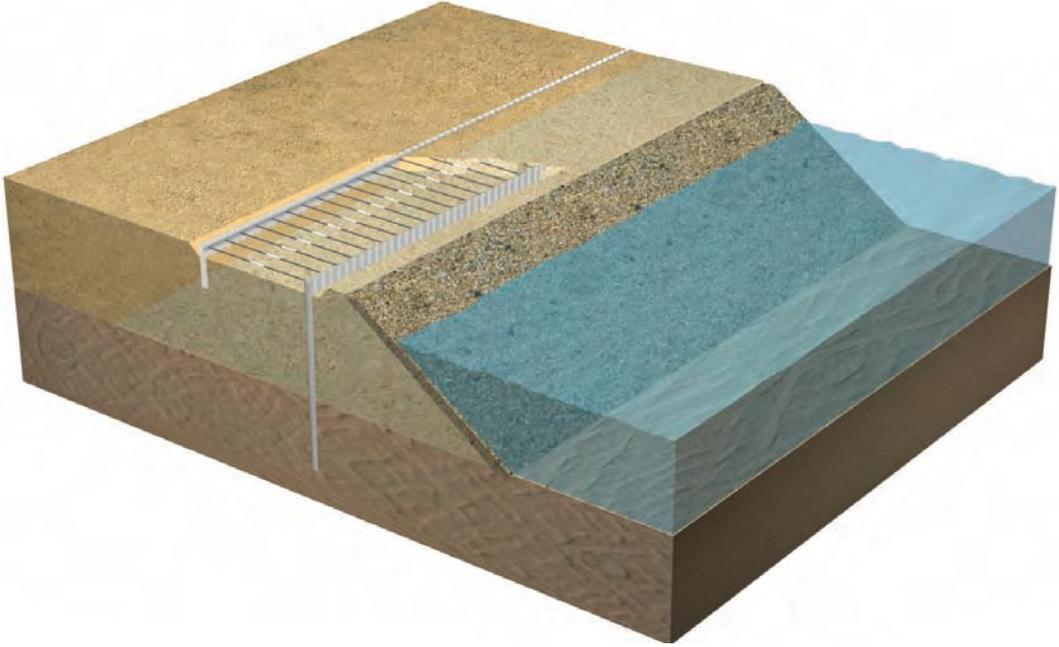
Figura 8.3.3



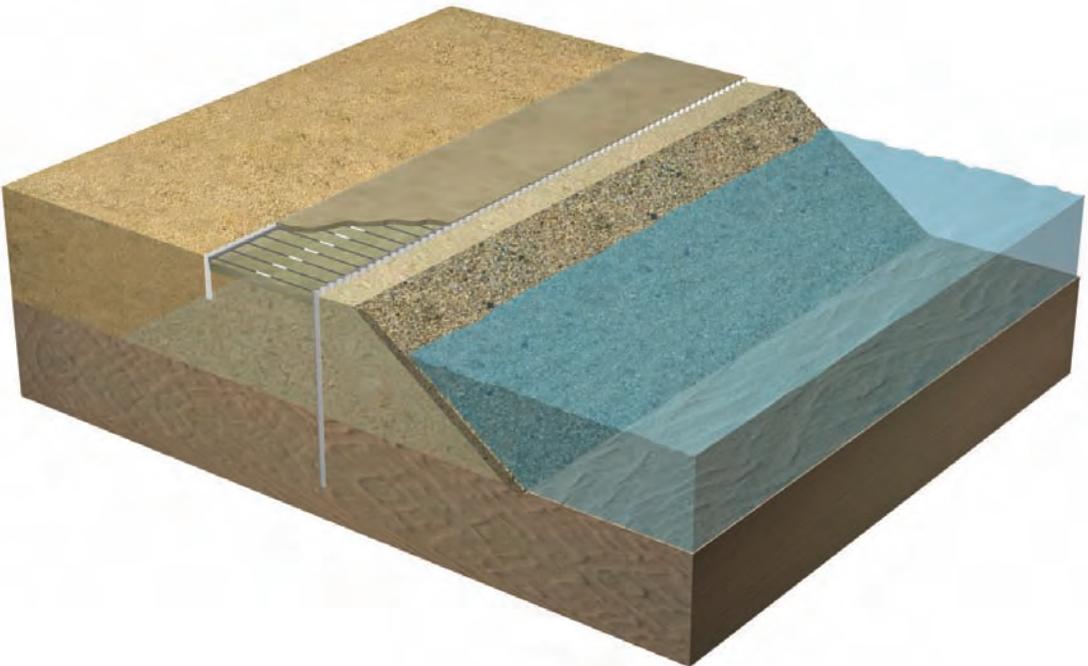
■ **FASE 1.** Construcción de mota y relleno parcial de la explanada



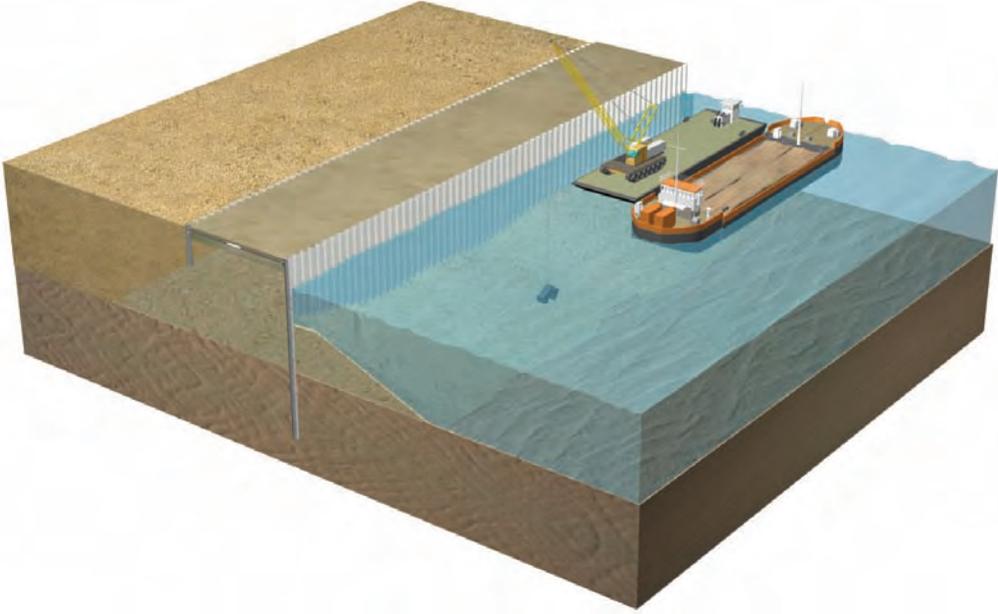
■ **FASE 2.** Hincia de pantallas



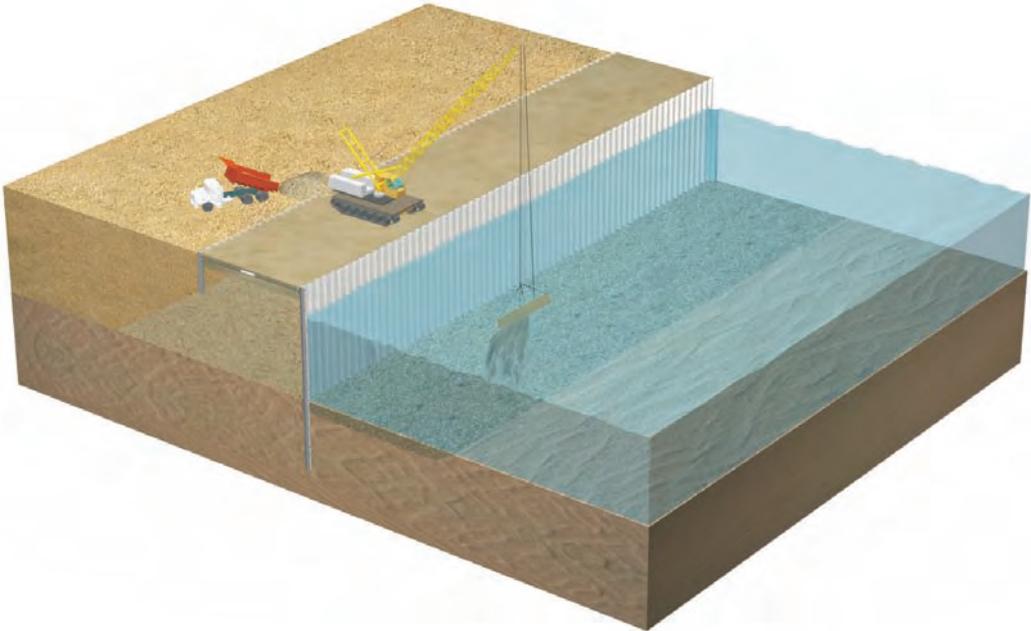
■ **FASE 3.** Excavación y colocación de tirantes



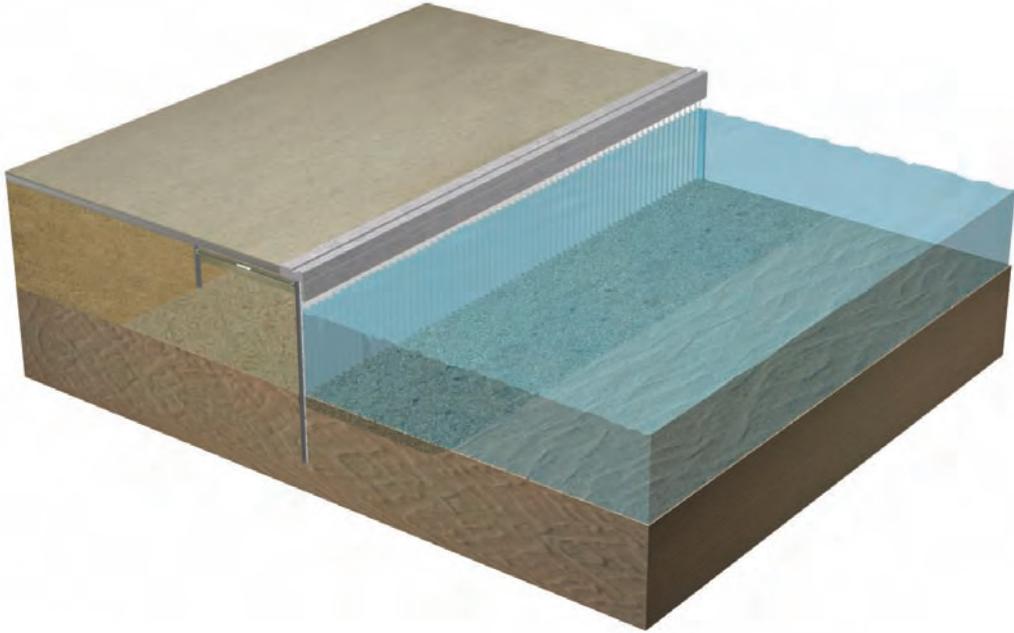
■ **FASE 4.** Relleno zona de anclajes



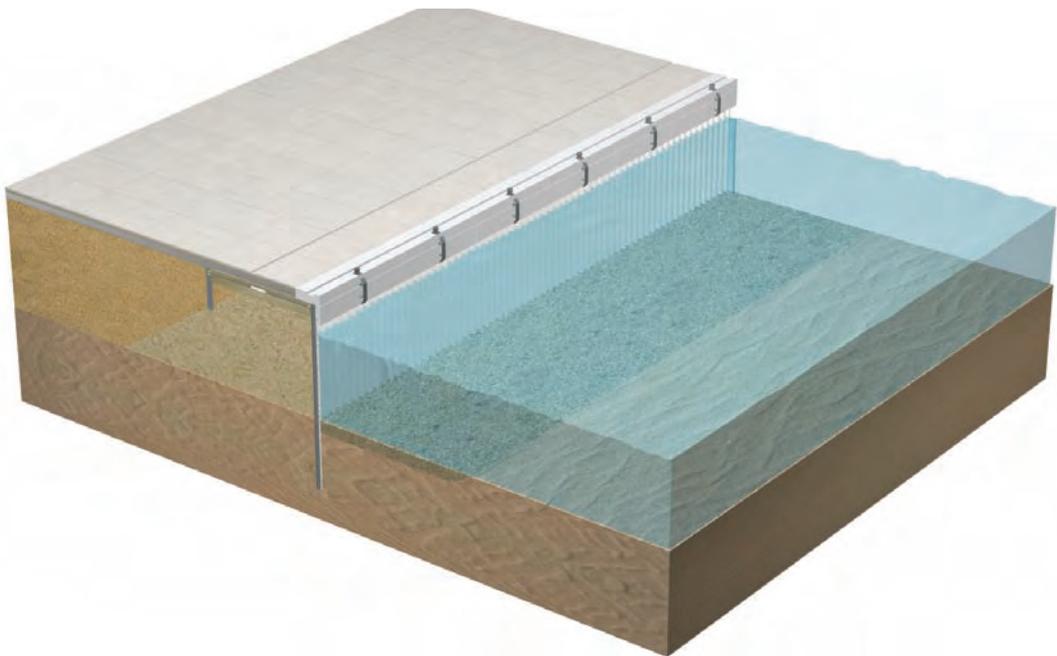
■ **FASE 5.** Dragado del frente de relleno



■ **FASE 6.** Protección de escollera del pie de pantalla



■ **FASE 7.** Construcción de viga cantil



■ **FASE 8.** Pavimentación y habilitación del muelle

La mejor solución desde un punto de vista constructivo es que la tablestaca pueda trasdo-sarse trabajando en ménsula hasta la cota de anclaje. Colocados los anclajes correspon-dientes, se continuará el relleno hasta la cota de coronación de explanada avanzando desde el anclaje a la pantalla.

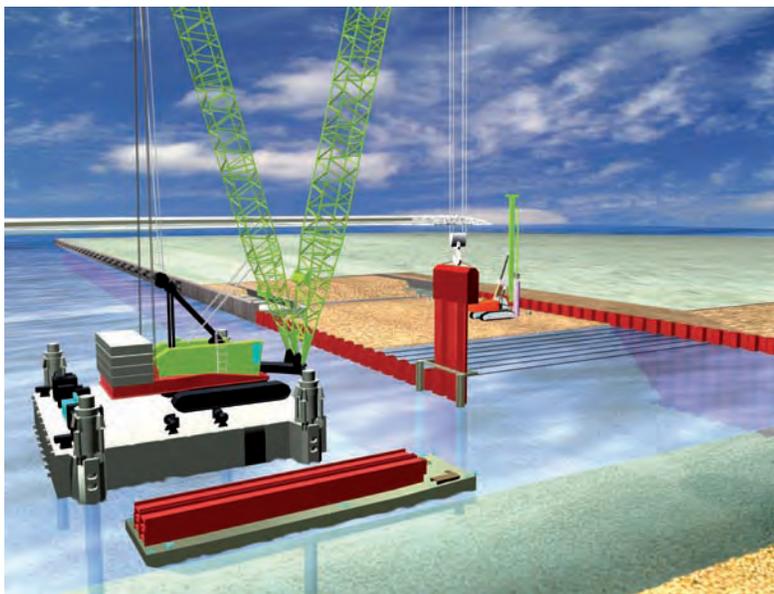


Figura 8.3.4. B Secuencia muelle de tablestacas con medios marítimos

8.3.5 Muelles de pantallas de hormigón

8.3.5.a Introducción

Las pantallas de hormigón construidas “*in situ*” son una solución escasamente utilizada para muelles, debido a las dificultades que esta técnica entraña para la ejecución porque:

- Habitualmente se tienen que ejecutar sobre rellenos no consolidados.
- La reparación de los paramentos externos de la pantalla es difícil.
- Se tiene gran dificultad para mantener los recubrimientos de las armaduras con la tolerancia exigida en las obras marítimas.

En todo caso, si se construyen pantallas de hormigón “*in situ*”. La secuencia constructiva es la siguiente:

- Dragado del terreno natural. Esta actividad, cuando se realiza, normalmente tiene por objeto realizar una mejora de terreno por sustitución.

- Mejora del terreno de cimentación. Actividad alternativa o complementaria de la anterior.
- Relleno de una mota con anchura suficiente para poder construir la pantalla.
- Construcción de la pantalla desde la mota.
- Construcción de la explanada en una anchura mínima que permita la colocación del anclaje.
- Anclaje de la pantalla.
- Dragado por delante de la pantalla del terreno natural y de los rellenos sobrantes.
- Protección del pie de la pantalla con escollera.
- Finalización de la superestructura y habilitación del muelle.

En los apartados siguientes se analizan estas actividades.

8.3.5.b *Dragado*

En ocasiones el Proyecto contempla el dragado de suelos que no son aptos para servir de soporte al muelle o, para permitir la construcción de pantallas de hormigón a través de ellos, y que tienen que ser sustituidos. Son de aplicación las consideraciones recogidas en el apartado 6.1 *Dragados*.

8.3.5.c *Mejora del terreno*

Cuando los rellenos no son adecuados para construir pantallas, es necesario su mejora para lo que son de aplicación las consideraciones recogidas en el apartado 6.3 *Mejora de terrenos*.

8.3.5.d *Construcción de la mota*

El material con el que se construya la mota debe ser homogéneo y tener unas características que:

- Cumpla las especificaciones del Pliego para el relleno del trasdós del muro de pantalla.
- Permita la construcción de las pantallas, teniendo en cuenta que el sostenimiento de la excavación se realiza con lodos tixotrópicos.
- Asegure el margen necesario por delante de la pantalla, incluso en sucesivas pérdidas de finos por acción del mar.

En todo caso el material con el que se rellene la zona donde se construyan las pantallas, será “no plástico” y no contendrá tamaños mayores de 20 cm.

8.3.5.e Construcción de las pantallas

Las pantallas se ejecutarán de acuerdo a las especificaciones del Pliego y se tendrá en consideración:

- Los muros guías se construirán de forma que queden enteramente por encima del nivel del agua, para lo que la superficie de la plataforma se construirá, al menos, 1.50 m por encima de la cota de la pleamar.
- Durante el hormigonado se asegurará que las armaduras no se desplazan.
- El hormigonado se realizará a través de una tubería cuyo extremo se mantendrá siempre dentro del hormigón.
- Introducción de juntas que garantice la continuidad de la pantalla para conseguir la mayor estanqueidad posible.
- En rellenos o terrenos muy permeables suele ser conveniente la ejecución previa de una pantalla de bentonita cemento que después se reexcava para ejecutar la pantalla de hormigón.

8.3.5.f Anclaje de las pantallas

Una vez construidas las pantallas se instalarán los anclajes y se pondrán en tensión.

8.3.5.g Dragado del terreno natural y de los rellenos sobrantes

Puestos en tensión los anclajes se procederá a retirar los terrenos que queden por delante del paramento del muelle. Para lo que se actuará de la siguiente forma:

- Se evitará dañar el paramento de hormigón.
- La retirada del terreno se hará dragando por capas de altura no mayor de dos metros.

8.3.5.h Superestructura

Cuando se hayan dragado los rellenos sobrantes y reparado, en caso necesario, el paramento de la pantalla de hormigón se procederá a construir la superestructura para lo que es de aplicación lo que se expone en el capítulo 9.- *Superestructura de diques y muelles*.

En caso de no existir superestructura se construirá una viga de atado que garantice e funcionamiento solidario de los diferentes módulos de pantalla.

8.4 MUELLES AUXILIARES Y CARGADEROS

8.4.1 Introducción

En ocasiones, en las obras marítimas es necesario construir instalaciones portuarias para realizar operaciones de:

- Carga en los gánguiles y en las pontonas de todo-uno, escolleras (naturales o artificiales) y/o material para relleno.
- Atraques de las embarcaciones que realizan los trabajos: remolcadores, dragas, gánguiles, cabrias, pontonas, etc.
- Armamento de las embarcaciones y de los diques flotantes.
- Atraque de las embarcaciones auxiliares para el transporte del personal, el embarque de pilotes, tablestacas, tuberías para las dragas, etc.

Cuando estas instalaciones forman parte del Proyecto se integrarán dentro de la planificación general de la obra. Sin embargo, es muy frecuente que el Proyecto no contemple estas instalaciones portuarias porque las considera como instalaciones auxiliares de obra y, entonces, habrá que proceder a su diseño.

Cuando las obras se realizan en un puerto existente lo habitual es utilizar alguno de los muelles del puerto como muelle auxiliar de obra o, en todo caso, se procede a la construcción de un muelle provisional dentro de las aguas abrigadas del puerto.

Para la construcción de puertos de nueva creación puede ser necesaria la construcción de un puerto de servicio (figura 8.4.1).



Figura 8.4.1 Puerto de servicio

8.4.2 Diseño del puerto de servicio

El proyecto del puerto de servicio debe formar parte del Proyecto de la obra y en su diseño se tendrá en consideración:

- Crear un área de agua con abrigo suficiente, mediante la construcción de los oportunos diques, que permita realizar las operaciones de carga ligadas a la construcción del puerto, mediante la construcción de los muelles necesarios.
- En el puerto de servicio fundamentalmente se instalan cargaderos para escolleras y “todo uno”. Por tanto los calados requeridos son reducidos.
- La superficie abrigada debe ser suficiente para permitir maniobrar a los gánguiles en su interior.
- La posible utilización posterior del puerto de servicio para otras actividades portuarias.
- La necesidad de su desmantelamiento total o parcial.
- La vida útil.
- El requerimiento de compatibilizar su explotación con la construcción del resto de la obra.

8.4.3 Diseño de muelles auxiliares

En el Proyecto de las instalaciones marítimas auxiliares (figura 8.4.3) se tendrán en consideración los siguientes aspectos:

- La agitación existente en los muelles que debe ser compatible con las operaciones a realizar.



Figura 8.4.3 Muelle auxiliar

- La longitud, calado y anchura serán las que demanden los buques y artefactos flotantes que tengan que operar. Algunas actividades como la de fabricación de cajones requieren muelles con gran calado.
- La durabilidad está limitada a la vida útil prevista para estas instalaciones.
- Se preverá el desmantelamiento de estas instalaciones provisionales.

8.4.4 Tipologías

En muelles auxiliares de nueva construcción se han utilizado, o se pueden utilizar, la casi totalidad de las tipologías estructurales. En función de los condicionantes que se presenten en cada caso se optará por:

- CAJONES. Utilizar, uno o varios cajones fabricados en otro lugar y transportados, como muelle auxiliar para la fabricación del resto de los cajones. El muelle auxiliar puede ser parte de la obra definitiva o puede requerir que los cajones sean reflotados, transportados y fondeados en la ubicación definitiva.
- TABLESTACAS. Las tablestacas con las que se construyen muelles provisionales son fácilmente extraíbles y pueden ser reutilizadas.
- BLOQUES DE HORMIGÓN. Hay que diseñarlos con un sistema de enganche que permita su recuperación. Pueden ser reutilizados.
- HORMIGÓN SUMERGIDO. Para su construcción no se requiere equipos especiales, siendo idóneos en zonas con pocos medios. Presentan importantes dificultades para su desmantelamiento.
- OTRAS TIPOLOGÍAS. También se pueden habilitar muelles auxiliares de las siguientes formas:
 - Con pontonas flotantes o varadas provisionalmente.
 - Con pontonas elevadas sobre patas.

Un análisis detallado de los aspectos reseñados, de la disponibilidad de los medios, de los equipos y de los plazos disponibles, permitirá adoptar la solución idónea.

8.4.5 Cargaderos

Son un caso particular de muelles auxiliares, dedicados fundamentalmente a la carga de material de relleno, todo-uno, escolleras y bloques, se caracterizan porque requieren un calado reducido (entre 4 m y 5 m).

Los cargaderos de gánguiles (figura 8.4.5 A) están formados por estructuras que permiten que los equipos de transporte de material de relleno, todo-uno y escolleras puedan bascular su carga en el interior de las cántaras de los gánguiles (figura 8.4.5 B).

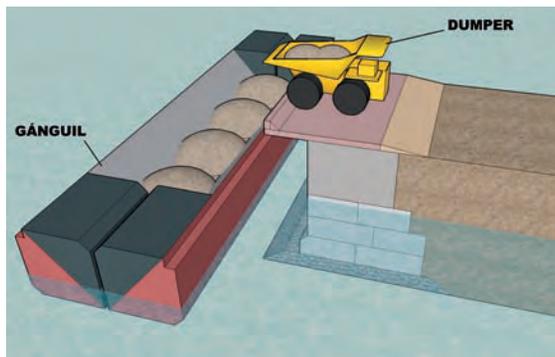


Figura 8.4.5 A Cargadero

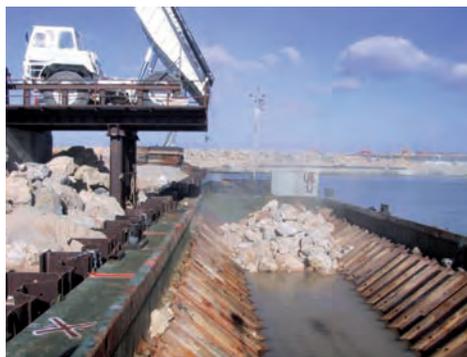


Figura 8.4.5 B Descarga en gánguil

Para su diseño se consideran los siguientes aspectos:

- Las características de los camiones: dimensiones, cargas que transmiten y número de equipos que operan simultáneamente.
- Las características de los gánguiles: dimensiones de la embarcación y de las cántaras. Entre ellas:
 - La manga del gánguil dimensiona la longitud que debe volar la estructura del cargadero para permitir que el material sea basculado en el centro de la cántara.
 - El gálibo es el requerido para permitir el atraque del gánguil en lastre bajo la estructura del cargadero, con un resguardo de 0,5 m.
 - El calado necesario es el del gánguil a plena carga para que con marea baja se disponga de un resguardo de 1 m para compensar posibles aterramientos.
 - La agitación que producen las hélices de los gánguiles puede socavar la cimentación del muelle, en cuyo caso se protegerá.
 - Las estructuras de los cargaderos permitirán la operación simultánea al menos de dos equipos de transporte.
 - Se dispondrá de zonas de acopio en las proximidades del cargadero.
- El clima marítimo:
 - La altura de ola con la que se debe operar.
 - Las alturas máxima y mínima de la marea previstas en el período de trabajo del cargadero.
- Las necesidades de carga: determinarán el número de gánguiles que cargan simultáneamente y, en consecuencia, el número de estructuras necesarias.

- Las superficies de acopio: Los acopios pueden independizar en alguna medida el transporte terrestre del marítimo. Éstos permiten:
 - Continuar con el transporte terrestre, depositando el material en el acopio, cuando el estado del mar no permite el transporte y el vertido marítimo.
 - Realizar el transporte y vertido con los gánguiles en períodos de paralización del transporte terrestre, por operatividad de la cantera, por limitaciones horarias, por conflictos laborales, etc.

Durante la utilización del cargadero se verificará que:

- El estado de la cimentación de los muelles, especialmente en lo que concierne a la socavación de la banqueta de cimentación del muelle.
- La caída de material no produce aterramientos y disminuciones del calado que puedan afectar la operación de los gánguiles; en caso contrario, se dragará.



Figura 8.4.5 C Descarga en gánguil con retroexcavadora.

Superestructura de diques y muelles

9.1 INTRODUCCIÓN

Dentro del capítulo *SUPERESTRUCTURA DE DIQUES Y MUELLES*, se incluyen las siguientes unidades de obra:

- Espaldones de diques en talud y de diques verticales.
- Vigas cantil de muelles.
- Vigas traseras, vigas riostras, galerías de servicio, canaletas y conducciones en los muelles.

Las superestructuras de las obras marítimas con frecuencia están afectadas por las mareas y el oleaje y, por lo tanto, sometidas a repetidos ciclos de húmedo/seco y a salpicaduras. Para asegurar la durabilidad de estas construcciones en ambiente agresivo hay que prestar una especial atención a la colocación de las armaduras y a la elaboración y puesta en obra del hormigón.

- **ARMADURAS.** Se tendrán en consideración los siguientes aspectos:
 - Se evitarán períodos prolongados de acopio.
 - Se arbitrarán procedimientos para asegurar que los recubrimientos son los prescritos en el Pliego.
 - En zonas sometidas a ciclos húmedo/seco las armaduras se colocarán con la menor anticipación posible respecto del hormigonado. Además, cuando sea necesario, inmediatamente antes de hormigonar, se lavarán con agua dulce.
- **HORMIGONES.** Se elaborarán y se pondrán en obra con estricta observancia de las prescripciones del Pliego y de la normativa vigente. En particular, se tendrán en consideración los siguientes aspectos:
 - Los cementos que se emplean en estas unidades de obra requieren, en determinadas ocasiones, plazos prolongados para su suministro así como la instalación de silos para su almacenamiento, por lo que su utilización deberá ser planificada con suficiente antelación.
 - A fin de disminuir al máximo la permeabilidad del hormigón, es recomendable utilizar dosificaciones cerradas con la adecuada proporción de finos. Se consigue disminuir sensiblemente la permeabilidad con la adición de microsílíce.

- Cuando se prevea que, por efecto de las mareas, el hormigón va a quedar sumergido en un espacio breve de tiempo tras su puesta en obra, se utilizarán dosificaciones que proporcionen un fraguado rápido.

9.2 ESPALDONES DE DIQUES EN TALUD

9.2.1 Definición y objeto

Los espaldones son muros que coronan los diques (figuras 9.2.1 A). Se construyen con la finalidad de:

- Optimizar estructuralmente la sección del dique.
- Aumentar la cota de coronación del dique para reducir o eliminar los rebases.
- Servir de apoyo a las escolleras -naturales o artificiales- de los mantos de protección.



Figura 9.2.1 A Espaldón



Figura 9.2.1 B Espaldón con galería

Sobre los diques en talud, generalmente, los espaldones se proyectan de hormigón en masa y resisten la acción del oleaje por gravedad. En ocasiones, los espaldones de gran tamaño se diseñan con una galería de servicio en su interior (figura 9.2.1 B) con el objetivo de:

- Conseguir una mayor anchura de la base del espaldón con la misma cantidad de hormigón, disminuyendo los esfuerzos sobre el terreno y aumentando su estabilidad.
- Disponer de una galería de servicio de gran utilidad, especialmente en los diques rebasables.
- Mejorar las condiciones de fraguado del hormigón.

En los espaldones de hormigón de gran porte se diferencian tres partes (figura 9.2.1 C):

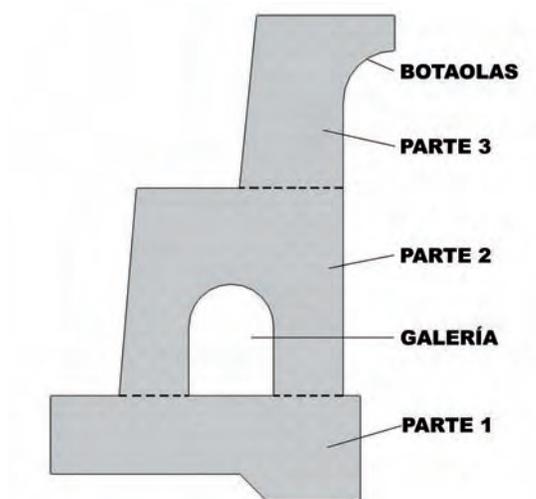


Figura 9.2.1 C Sección espaldón

- [1] Losa inferior, frecuentemente cimentada a una cota muy baja.
- [2] Parte central o núcleo del espaldón, donde en ocasiones se aloja una galería de servicio o las conducciones para diferentes instalaciones.
- [3] Parte superior que corona el espaldón y habitualmente se construye con un botaolas.

9.2.2 Condicionantes

La construcción de espaldones está condicionada por los siguientes aspectos que se analizan a continuación:

- El clima marítimo.
- El hormigón.
- La necesidad de proteger el núcleo del dique de la acción del oleaje.
- La accesibilidad.
- Los asientos por consolidación del dique y/o deformación del terreno sobre el que se cimenta.

• EL CLIMA MARÍTIMO

Los proyectos suelen situar la base de la losa a una cota muy baja en relación con el nivel del mar, por lo que su ejecución está afectada de manera muy importante por la acción del oleaje, circunstancia que puede minimizarse si:

- Se dispone de una previsión de clima marítimo que permita retirar o proteger los encofrados ante la llegada de los temporales.
- Se coloca previamente la parte de los mantos de protección que sean compatibles con la ejecución de la losa inferior.
- Una vez construida la losa inferior, se coloca la parte de los mantos de protección que no interfiera con la siguiente fase del espaldón.

• EL HORMIGÓN

Debido a los grandes volúmenes de hormigón que se requieren (figuras 9.2.2 A y B) es conveniente:

- Utilizar hormigones con tamaños grandes de árido (hasta 120 mm).
- Relaciones bajas de agua/cemento.
- Hormigón de consistencia seca.

Lo que conlleva emplear:

- Sistemas que permitan la puesta en obra del hormigón de consistencia seca y árido grueso, como son la colocación con cinta o cazo, el vertido directo, etc. Estos hormigones no son bombeables.
- Equipos potentes de vibrado.



Figura 9.2.2 A Construcción espaldón con galería



Figura 9.2.2 B Construcción espaldón

- **PROTECCIÓN DEL NÚCLEO DEL DIQUE EN CONSTRUCCIÓN**

La forma más adecuada de proteger el núcleo del dique de la acción del oleaje es mantener el mínimo desfase entre el avance del núcleo y la construcción del espaldón.

- **LA ACCESIBILIDAD**

En ocasiones, la sección de los diques no permite simultanear la construcción del espaldón con el paso de los camiones que transportan el material del núcleo. Una correcta planificación de las obras debe compaginar ambas actividades.

- **LOS ASIENTOS DE LA SUPERFICIE DE APOYO DEL ESPALDÓN**

La construcción de los espaldones, o al menos de parte de ellos, debe acometerse cuando los asientos de la superficie de apoyo del espaldón estén estabilizados. Esta estabilización de los asientos requiere un mayor plazo cuando el terreno sobre el que se construye el dique es altamente deformable.

9.2.3 Proceso constructivo

La secuencia de ejecución por fases de un espaldón, típica en espaldones de gran tamaño (alturas superiores a 15 m) es la siguiente:

FASE 1 EXCAVACIÓN DE LA CAJA DE LA LOSA INFERIOR (figura 9.2.3 A).

- Se debe acometer lo más próximo posible al avance sin interferir con el trabajo de los equipos de ejecución del núcleo del dique.

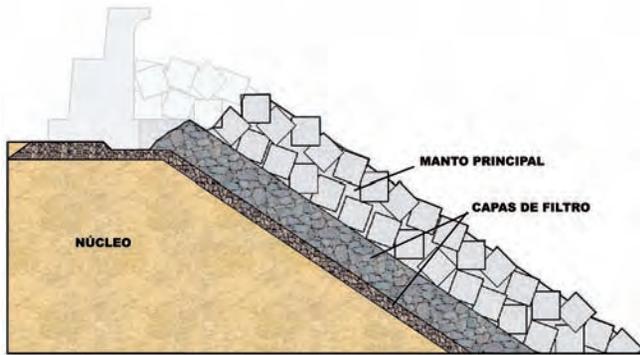


Figura 9.2.3 A Excavación de la caja de la losa

FASE 2 HORMIGONADO DE LA LOSA INFERIOR (figura 9.2.3 B).

- Es conveniente diseñar la operación para posibilitar la puesta en obra del hormigón por vertido directo, reduciendo el plazo y el coste.
- En espaldones de longitud mayor de 400/500 m es recomendable la utilización de carros de encofrado.
- La longitud de los carros de encofrado no debe superar los 10 m.
- El vibrado debe hacerse con equipos de vibración múltiples accionados por una máquina.
- Sólo se debe fratar la superficie superior de la zapata que no vaya a quedar en contacto con el hormigón de la siguiente fase.

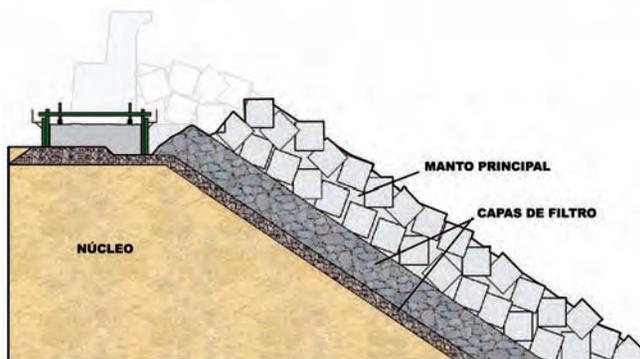


Figura 9.2.3 B Hormigonado de la losa

FASE 3 HORMIGONADO DE LA PARTE CENTRAL DEL ESPALDÓN (figura 9.2.3 C).

- Es de aplicación lo reseñado para la Fase 2.
- La puesta en obra del hormigón debe hacerse evitando la utilización de bombas, por cuanto éstas limitan el tamaño máximo del árido y exigen una consistencia del hormigón fluida.
- El diseño, la construcción y la primera instalación de los carros de encofrado requiere un plazo de varios meses por lo que se debe planificar y acometer con suficiente antelación.
- Antes de iniciar el hormigonado se tratará la superficie de la fase anterior para asegurar la correcta adherencia.

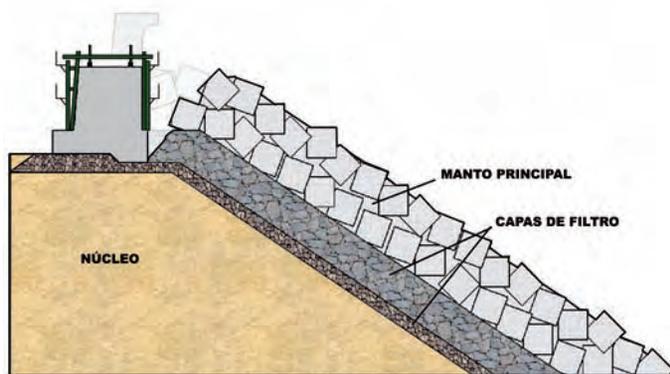


Figura 9.2.3 C Hormigonado de la parte central

FASE 4 TERMINACIÓN DE LOS MANTOS DE PROTECCIÓN (figura 9.2.3 D).

- Transcurridos tres o cuatro días del hormigonado, y una vez liberado el encofrado, se procederá a completar los mantos de protección de escollera que se deben apoyar en el espaldón.

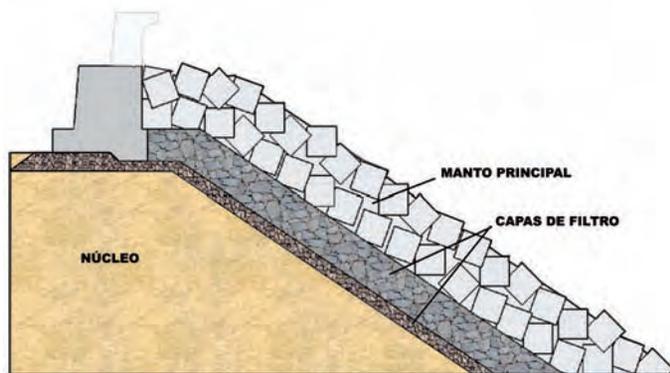


Figura 9.2.3 D Terminación del manto de protección

FASE 5 HORMIGONADO DE LA PARTE SUPERIOR DEL ESPALDÓN (figura 9.2.3 E).

- Es de aplicación lo reseñado para las Fases 2 y 3.
- La existencia del botaolas requiere mayores tiempos de espera para desencofrar, en general, no inferiores a 36 horas.
- Los rendimientos que se pueden obtener en la construcción de los espaldones son:
 - En la losa inferior y en la parte central del espaldón se puede llegar a conseguir una puesta diaria.
 - En la parte superior del espaldón cada puesta suele requerir dos días.

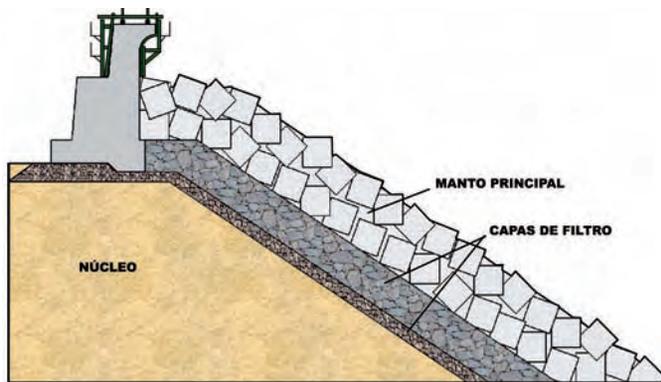


Figura 9.2.3 E Hormigonado de la parte superior

En la construcción de los espaldones se debe tener en consideración que:

- La longitud de los encofrados debe ser tal que para la secuencia elegida -puesta diaria o cada dos días-, se consigan los avances estimados (no mayores que los avances del núcleo del dique).
- Se deben sellar los orificios que quedan tras retirar los tirantes del encofrado, puesto que durante los temporales permiten el paso del agua a gran velocidad.

En otras ocasiones, para facilitar las operaciones del avance y acelerarlo, se construye el dique con sus mantos completos y sin espaldón, colocando a modo de espaldón unas hileras de bloques sobre la losa del camino para proteger la obra durante el invierno. Al iniciar la primavera, se construye el espaldón definitivo con el núcleo del dique ya consolidado.

9.2.4 Juntas

Las **juntas estructurales** se construirán de acuerdo a lo estipulado en el Proyecto, en cuanto a situación, forma y tamaño.

El cálculo de los espaldones de los diques verticales se hace considerando que entre cada dos juntas estructurales se comportan como una estructura monolítica, por lo que en su construcción se deben arbitrar los medios necesarios para garantizar que las **juntas de construcción** se ejecutan de forma que se transmitan adecuadamente los esfuerzos a través de ellas.

• JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN HORIZONTALES

- Para ASEGURAR LA CONTINUIDAD ESTRUCTURAL de los espaldones de los diques ejecutados por fases, las juntas se tratarán actuando de la siguiente forma:

1.º Se limpiará la superficie del hormigón ya fraguado, utilizando alguna de las formas sancionadas por la práctica, tales como el chorreado de arena o la lanza de agua hasta eliminar los áridos adheridos y, si las hubiere, las capas de lechada que no hubieran fraguado por la existencia de sales.

2.º Se tratará la superficie con productos que aseguren la adherencia entre hormigón nuevo y viejo como son las resinas epoxídicas o las lechadas de cemento.

- Como actuación complementaria, NUNCA SUSTITUTIVA a la limpieza y el tratamiento de las juntas, se pueden disponer conectores de acero. Su número, su disposición y su longitud de anclaje se determinarán en función de los esfuerzos que tengan que soportar.

Al diseñar los carros de encofrado se tendrá en cuenta, si está prevista, la existencia de conectores.

- La transmisión de los esfuerzos se puede mejorar con la forma de la junta construyéndola machihembrada, escalonada, etc.

• JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN VERTICALES

Es una práctica adecuada disponer las juntas verticales machihembradas (figura 9.2.4) al objeto de:

- Aumentar la seguridad al vuelco.
- Evitar la irrupción violenta del agua a través de las juntas durante los temporales.
- Disminuir la discontinuidad en la superficie de los paramentos por desplomes diferenciales.

El tratamiento de las juntas de construcción verticales será análogo al de las juntas horizontales.

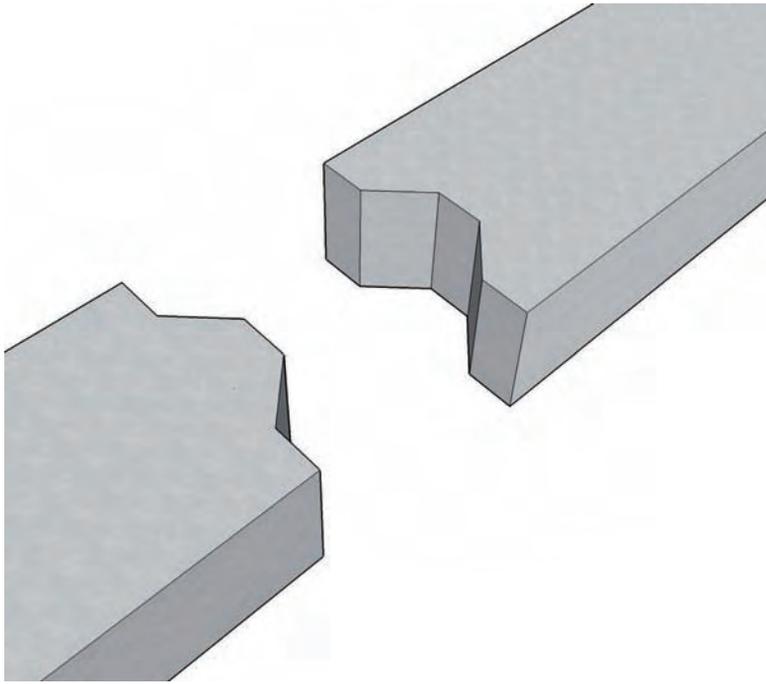


Figura 9.2.4 Esquema de junta machihembrada

9.2.5 Controles a corto y largo plazo

Después de construido el espaldón:

- Se instalarán hitos referenciados topográficamente para registrar los posibles movimientos.
- Se efectuará un reportaje fotográfico donde aparezcan los referidos hitos.
- Se verificará que las escolleras de los mantos de protección han quedado apoyadas en el espaldón. Es importante este paso porque las escolleras no apoyadas serán movidas por los temporales y los impactos dañarán a éstas y al espaldón.
- Es conveniente realizar filmaciones durante los temporales.

9.3 ESPALDONES DE DIQUES VERTICALES

9.3.1 Definición y objeto

Los espaldones son muros que coronan los diques hasta alcanzar la cota requerida para evitar o limitar los rebases (figura 9.3.1).



Figura 9.3.1 Espaldón de dique vertical

En los diques verticales se construyen tanto espaldones de hormigón en masa como espaldones de hormigón armado:

- **ESPALDONES DE HORMIGÓN EN MASA.**
 - Es de aplicación lo reseñado en el capítulo 9.2 *ESPALDONES DE DIQUES EN TALUD*.
- **ESPALDONES DE HORMIGÓN ARMADO.** Se utilizan con profusión en los diques verticales por las siguientes razones:
 - Ocupan menor superficie que los espaldones de hormigón en masa, circunstancia muy valorada en los diques verticales con atraque en la parte interior.
 - Pueden ser anclados al cuerpo del dique.

9.3.2 Condicionantes

La construcción de los espaldones en los diques verticales está muy condicionada por el clima marítimo. El oleaje, al incidir sobre un muro vertical, puede llegar a experimentar sobre-elevaciones del 100%.

Cuando la cota de la parte superior de los cajones que forman el cuerpo del dique no es suficiente para construir el espaldón a resguardo de la acción del oleaje, se puede actuar:

- Prolongando la pared exterior del cajón durante su construcción. De esta manera, al quedar fondeado el cajón se dispone de un muro que protege de la acción del oleaje al mismo tiempo que sirve de encofrado perdido para el hormigonado de la primera fase del espaldón.
- Hormigonando el espaldón por fases, de manera que se ejecute la inferior en los períodos de calma.

9.3.3 Proceso constructivo

El proceso constructivo de los espaldones de los diques verticales es análogo al proceso de los espaldones de los diques en talud, siendo aconsejable la utilización de carros de encofrado y realizar el hormigonado en dos o tres fases -en función de la altura del espaldón- (figuras 9.3.3 A y B).



Figura 9.3.3 A Espaldón fase 1



Figura 9.3.3 B Espaldón fase 2

A este respecto, se debe tener en consideración que:

- En los diques de cajones, la longitud del encofrado (figura 9.3.3 C) debe ser tal que cada cajón requiera un número entero de puestas para que, como es preceptivo, las juntas del espaldón coincidan con las juntas entre los cajones.
- Las juntas verticales de construcción de las distintas fases se deben hacer coincidir para evitar la aparición de fisuras.
- La superficie del hormigón se debe tratar adecuadamente para asegurar la adherencia entre fases, siendo de aplicación lo reseñado en el apartado 9.2.4 *Juntas*.
- Las aristas deben achaflanarse.
- Son de aplicación las consideraciones realizadas para los espaldones en diques en talud, salvo las relativas a la colocación de escolleras.
- Se colocarán las conducciones y los alojamientos que las futuras instalaciones requieran.



Figura 9.3.3 C Encofrado de espaldón de hormigón armado

9.3.4 Controles a corto y largo plazo

Además de todos los controles que el Pliego y los procedimientos de calidad establezcan, es conveniente:

- Comprobar periódicamente el estado de los encofrados, prestando especial atención a su geometría.
- Instalar hitos referenciados para medir los posibles movimientos.

9.4 VIGA CANTIL EN MUELLES DE GRAVEDAD

9.4.1 Definición y objeto

Las vigas cantil de los muelles de gravedad son unas vigas de hormigón armado, construidas generalmente “*in situ*”, que cierran el extremo superior externo del muelle. Sus objetivos son:

- Servir de cierre a las explanadas.
- Conseguir la correcta alineación del muelle.
- Permitir el anclaje de defensas, bolardos, escalas, etc.
- Alojar las canalizaciones de agua, electricidad, red contra incendios, etc.
- Soportar los carriles para las grúas.

9.4.2 Diseño del encofrado

En la construcción de las vigas cantil de muelles de gravedad, cuando su longitud es superior a 200 m, es recomendable la utilización de CARROS DE ENCOFRADO (figura 9.4.2). Para su diseño y fabricación se tendrán en consideración las siguientes recomendaciones:

- La longitud de los carros no debe ser superior a 10 m para facilitar su manejo.
- La longitud útil de cada puesta será tal que las juntas de construcción coincidan con las juntas entre cajones (si el muelle tiene esta tipología).
- La distancia entre las defensas y la distancia entre los bolardos debe ser un múltiplo de la longitud del encofrado, para que los anclajes de estos elementos queden siempre en el mismo lugar respecto al carro.
- El carro debe tener holgura suficiente para absorber las irregularidades en el paramento de la infraestructura del muelle (cajones, bloques, hormigón sumergido, etc.).
- El carro debe permitir la construcción de los distintos elementos:
 - Cajetines y anclajes para carriles de grúa.
 - Anclajes de bolardos o ganchos de escape rápido.
 - Anclajes para defensas.
 - Anclajes para escalas.
 - Canaletas y conducciones.

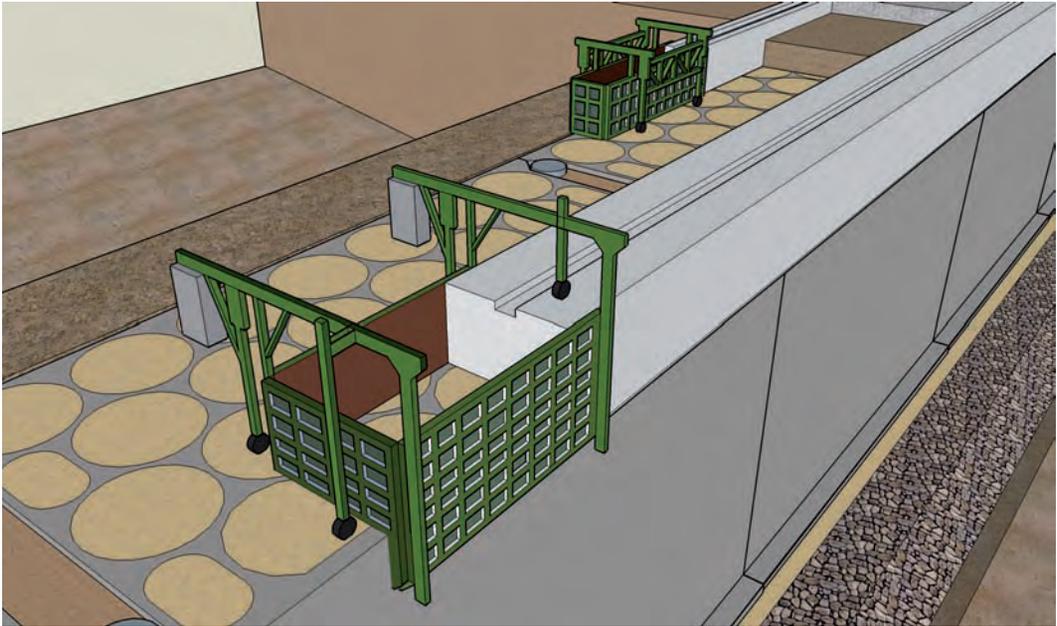


Figura 9.4.2 Carro de encofrado

- Cantoneras -elementos metálicos que se colocan a lo largo de todo o parte del borde superior externo del cantil-. Es recomendable que tengan sección de arco de circunferencia ya que de esta manera disimulan las pequeñas irregularidades en su posicionamiento.
- Los carros deben permitir la instalación de los tubos de desagüe.
- En el diseño del carro se habrá previsto, si las hubiere, la existencia de armaduras que saliendo de la infraestructura se conecten a las armaduras de la viga cantil.
- En ocasiones es conveniente que los carros tengan capacidad para variar la longitud de la viga hormigonada a fin de permitir, en su caso, su ajuste a las distintas longitudes de los cajones o las separaciones entre defensas o bolardos.

Para el diseño y fabricación de los carros de encofrado es conveniente recurrir a expertos.

Normalmente, hay que fabricar un carro para cada obra puesto que en los diferentes proyectos no se siguen pautas para el diseño geométrico de las vigas cantil.

9.4.3 Proceso constructivo

En la construcción de vigas cantil con la inclusión de anclajes, canaletas y conducciones, lo habitual es hormigonar una puesta cada dos días. En ocasiones, con encofrados adecuados y equipos experimentados, se ha conseguido una puesta al día.

La secuencia en la construcción de vigas cantil con carros de encofrado (figuras 9.4.3 A y B) es la siguiente:



Figura 9.4.3 A Encofrado viga cantil

- 1.º Regularización de la superficie. Para permitir la rodadura del carro de encofrado y proporcionar una superficie donde colocar adecuadamente las armaduras.
- 2.º Liberación del carro de encofrado de la puesta ya hormigonada y avance del mismo hasta la siguiente posición.
- 3.º Limpieza y colocación del carro de encofrado.
- 4.º Colocación de las armaduras y de los elementos de anclaje. Se asegurará el correcto recubrimiento y la posición de los anclajes dentro de la tolerancia que se requiera, que en ocasiones es muy estrictas.
- 5.º Hormigonado. Se controlará que no se producen movimientos del carro de encofrado y/o de los elementos incorporados.



Figura 9.4.3 B Encofrado viga cantil

9.4.4 Controles a corto y largo plazo

Una vez construida la viga cantil:

- Se instalarán hitos referenciados topográficamente para registrar posibles movimientos.
- Se efectuará un reportaje fotográfico donde aparezcan los referidos hitos.

9.5 VIGA TRASERA Y VARIOS

9.5.1 Definición

En algunos muelles forman parte de la superestructura otros elementos como:

- VIGA TRASERA. Tiene como función soportar los carriles para los ejes traseros de las grúas y/o contener los rellenos.
- VIGA RIOSTRA. Permite unir la viga cantil con la viga trasera al objeto de asegurar la distancia entre los carriles para las grúas y, si es necesario, transmitir los esfuerzos del tiro de los bolardos y del atraque en las defensas.
- GALERÍA DE SERVICIO, CANALETAS Y CONDUCCIONES. Presentan formas muy diversas según la función para la que han sido diseñadas: conducciones eléctricas, abastecimiento de agua, tomas de agua para refrigeración, sistema contraincendios, combustible, telefonía, etc.

9.5.2 Viga trasera

Las vigas traseras pueden ir apoyadas sobre:

- La estructura del muelle.
- Los rellenos de la explanada.
- Pilotes.

Para su ejecución, que no presenta especiales dificultades, se debe tener en consideración lo siguiente:

- Para longitudes de viga mayores de 200/300 m es adecuada la utilización de CARROS DE ENCOFRADO. Los carros para encofrar estas vigas son de gran simplicidad (figura 9.5.2 A) y, por lo repetitivo de la operación, facilitan el cumplimiento de los plazos al mismo tiempo que permiten optimizar los medios de producción.
- Las juntas de construcción se realizarán machihembradas para asegurar el comportamiento adecuado de la viga ante los esfuerzos cortantes.
- En el caso de vigas pilotadas, las juntas de construcción se harán coincidir con los puntos en que los esfuerzos de flexión sean mínimos.
- Se materializarán los pasos para desagües y conducciones previstos en el Proyecto. Si es posible se construirán en mayor número para dejar algunos como reserva.
- Es conveniente diseñar el proceso de forma que la puesta en obra del hormigón se pueda hacer directamente desde el camión hormigonera. De esta manera, se simplifican y abara-



Figura 9.5.2 A *Viga trasera*

tan las operaciones de puesta en obra y de fabricación del hormigón, puesto que se puede utilizar hormigón de consistencia seca y no se condiciona el tamaño de los áridos.

- La construcción de la viga trasera debe tener un desfase respecto de la viga cantil para facilitar el acceso a ambas (figura 9.5.2 B)

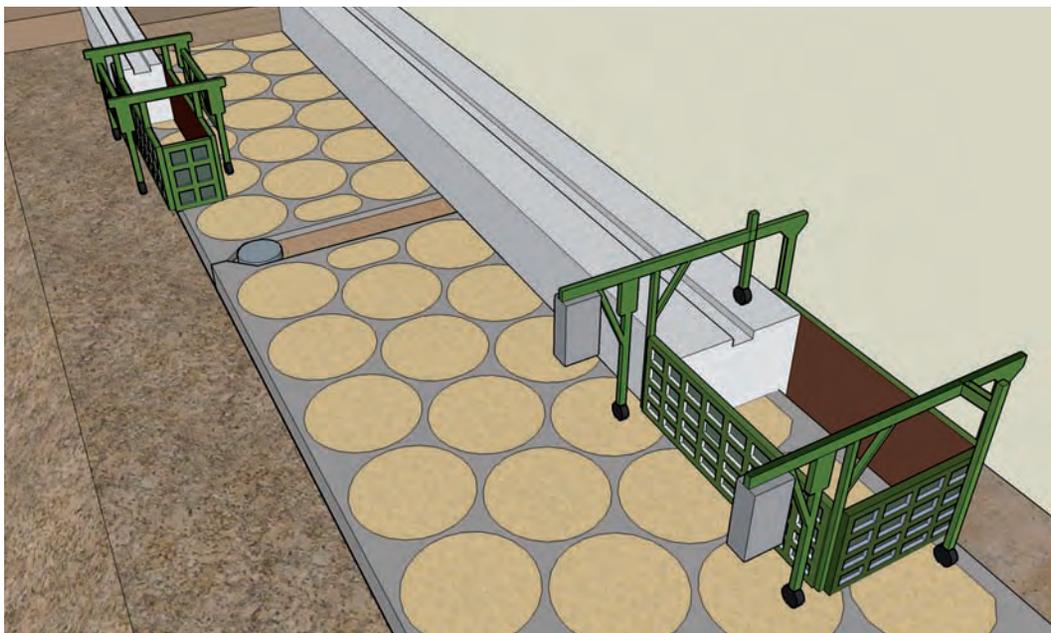


Figura 9.5.2 B *Desfase entre viga trasera y cantil*

9.5.3 Viga riostra

La necesaria conexión de las armaduras de la viga riostra con las de las vigas cantil y trasera se puede resolver, entre otras, de las dos formas siguientes:

- 1.º Diseñando y fabricando un encofrado que permita hormigonar simultáneamente las tres vigas (cantil, trasera y riostra). Esta alternativa requiere encofrados complejos y solo debe ser considerada cuando la longitud de la viga riostra no sea superior a 5/6 m.
- 2.º Construyendo las vigas carril y trasera con armaduras que permitan la conexión con la viga riostra. Para lo que es habitual el siguiente procedimiento:
 - Se fabrica el encofrado con una longitud igual a la separación entre dos vigas riostra.
 - La conexión con la viga riostra se prepara en la parte trasera del encofrado (figura 9.5.3 A), cerrando esa zona con unos “peines” que permiten el paso de las armaduras (figura 9.5.3 B). Al estar situadas las armaduras salientes en la parte trasera del encofrado (figura 9.5.3 C), su movimiento no se ve impedido por la existencia de aquéllas.
 - El sistema de “peines” de encofrado se utiliza con éxito para conectar a la viga cantil los faldones para defensas y otros elementos que requieran conectar sus armaduras con las del cantil.

9.5.4 Canaletas y conducciones

A continuación se hacen unas consideraciones relativas a la construcción de las canaletas y de las conducciones en los muelles:

- La ejecución de las canaletas y de las conducciones se debe compatibilizar con la del resto de las unidades que tienen lugar simultáneamente en el muelle.
- En general, las canaletas en los muelles no tienen pendiente longitudinal, o bien ésta es muy pequeña, por lo que se dotarán con profusión de desagües. Se comprobará que los desagües no se han obstruido durante la construcción y, en caso necesario, se instalarán filtros o rejillas.
- Las canaletas y las conducciones deben permitir el drenaje de la plataforma de los muelles. Se dispondrán los oportunos pasos para la red de drenaje cuando el Proyecto no lo contemple.
- En los alojamientos para la instalación de cables o para las tuberías de pequeño diámetro se colocarán las correspondientes guías.
- Las arquetas tendrán el tamaño suficiente para permitir la instalación de los cables y de las tuberías que deban pasar a través de ellas.
- Las tapas prefabricadas para las canaletas que soporten el paso de tráfico se deben construir con estricta observancia a la tolerancia geométrica que fije el Pliego, para garantizar

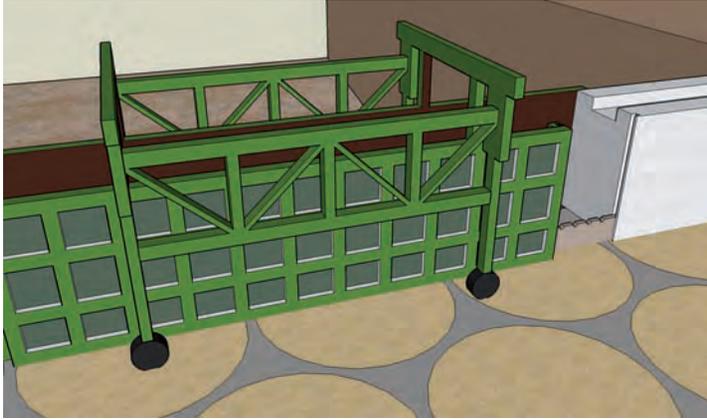


Figura 9.5.3 A Encofrado peine 1

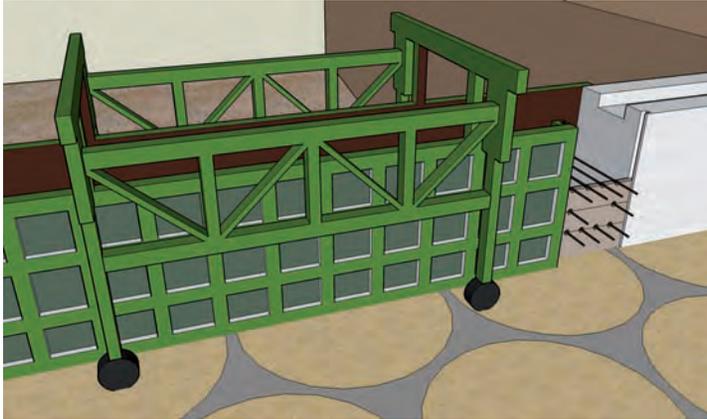


Figura 9.5.3 B Encofrado peine 2

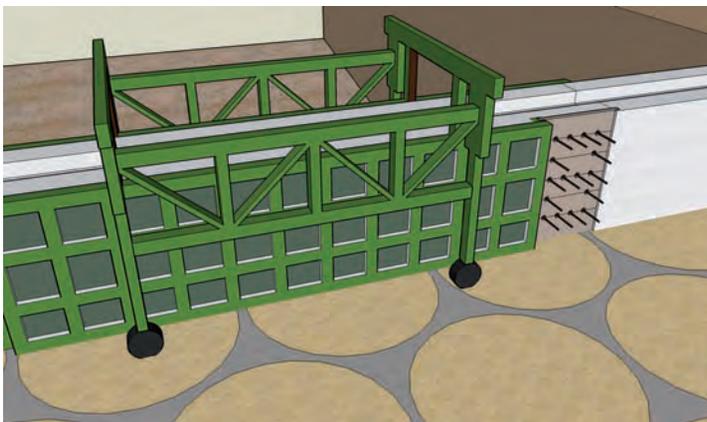


Figura 9.5.3 C Encofrado peine 3

un apoyo adecuado. Caso de ser retiradas, su colocación posterior se hará en el mismo lugar y posición donde inicialmente estaban ubicadas.

- Determinadas conducciones condicionan parte de la estructura de los muelles, por lo que el conocimiento de las características de aquéllas debe ser previo a la construcción de éstos. Al ser muy significativas las limitaciones que imponen las conducciones de combustible su instalación no se puede improvisar.

9.6 SUPERESTRUCTURA DE MUELLES DE PILOTES

9.6.1 Objeto

La superestructura de los muelles, pantalanes y Duques de Alba de pilotes cumple con las siguientes funciones:

- Permitir el desarrollo del talud del relleno desde la cota de coronación hasta el calado requerido en el pie del muelle.
- Arristrar longitudinal y transversalmente los grupos de pilotes que forman cada uno de los módulos del muelle.
- Constituir la plataforma del muelle, que incluye:
 - La viga cantil donde se instalan bolardos, ganchos de escape rápido, defensas y escalas.
 - Las vigas de soporte de los carriles de las grúas.
 - Las conducciones y los anclajes para distintas instalaciones como redes de agua, electricidad, contra incendios, cintas transportadoras, etc.
 - Superficie para la operación de los distintos equipos.

9.6.2 Tipologías

Habitualmente, la superestructura de los muelles presenta alguna de las siguientes tipologías estructurales:

- PREFABRICADA con elementos de hormigón. En este tipo de estructuras son reseñables los siguientes aspectos:
 - Su ejecución es rápida.
 - Se debe replantear la situación de los pilotes para construir o modificar las piezas prefabricadas que forman la superestructura al objeto de que encajen adecuadamente.
 - No se debe forzar la posición de los pilotes para acomodar la superestructura, ya que esta operación introduce unos esfuerzos en los pilotes y en la superestructura que no se han tenido en cuenta en el Proyecto.
 - En ocasiones, las uniones de los pilotes con la losa tienen que ser realizadas *"in situ"*.

- ESTRUCTURAS MIXTAS. Es habitual construir la superestructura de los muelles de pilotes utilizando elementos prefabricados con partes construidas "in situ" (figuras 9.6.2 A y B).

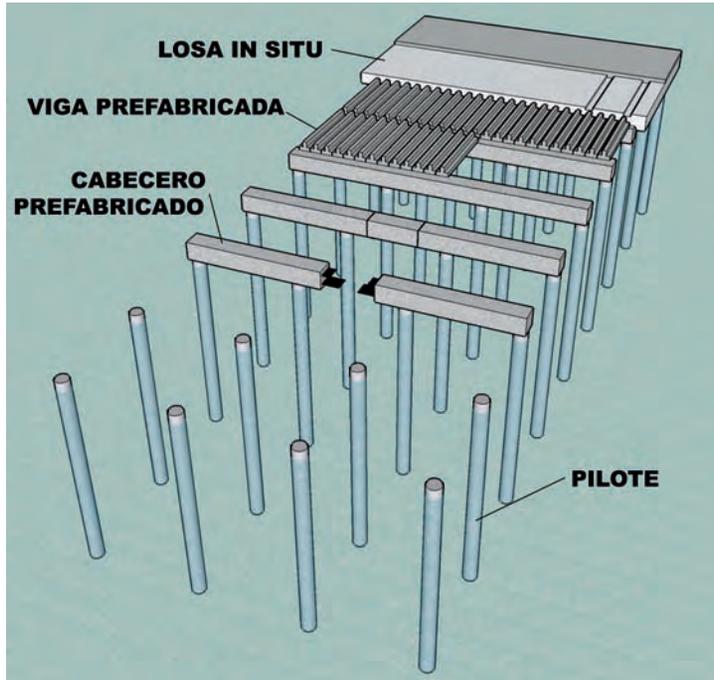


Figura 9.6.2 A Superestructura



Figura 9.6.2 B Montaje de prefabricados

- ESTRUCTURA EJECUTADA “*IN SITU*” con hormigón armado o pretensado. Generalmente se proyectan como una losa reticulada y monolítica:
 - El diseño y la fabricación de los encofrados es complejo (figura 9.6.2 C) y requieren la participación de personal especialista y plazos prolongados -varios meses-.
 - Durante la ejecución de los trabajos es necesaria la presencia continuada de numeroso personal cualificado.
 - Su aprovechamiento estructural es muy alto al ser estructuras que pueden adaptar su forma a los estados tensionales.



Figura 9.6.2 C Superestructura hormigonada “*in situ*”

9.6.3 Controles de ejecución

En la ejecución de las superestructuras de los muelles de pilotes se efectuarán los controles que el Pliego y los procedimientos de control de calidad prescriban, y se prestará especial atención en lo concerniente a:

- La tolerancia geométrica en los elementos prefabricados.
- Los recubrimientos de las armaduras.
- La manipulación de los prefabricados para evitar esfuerzos que no están previstos.

9.7 SUPERESTRUCTURA DE MUELLES DE PANTALLA

9.7.1 Objeto

La superestructura de los muelles de pantalla constituye la plataforma próxima al paramento que incluye:

- La viga cantil donde se instalan ganchos de escape rápido, defensas y escalas.
- Las vigas soporte de las grúas.
- Las conducciones, las canalizaciones y los anclajes para las distintas instalaciones.

9.7.2 Proceso constructivo

El paramento de los muelles de pantalla experimenta movimientos horizontales durante la retirada de los terrenos de su parte frontal y la compactación del relleno de su parte trasera. Hasta que estas operaciones finalicen y, por tanto, los anclajes adquieran la tensión definitiva, no debe acometerse la construcción de la superestructura.

Por lo demás, los procesos constructivos de la superestructura de los muelles de pantalla son análogos a los que se emplean en la construcción de la superestructura de los muelles de gravedad, siendo de aplicación lo expuesto en los apartados 9.4 *Viga cantil en muelles de gravedad* y 9.5 *Viga trasera y varios*.

9.8 DEFENSAS Y BOLARDOS

9.8.1 Objeto

Los sistemas de defensas se instalan en los muelles (figura 9.8.1 A y B) y su finalidad es:

- Absorber la energía de atraque del buque, limitando la fuerza de reacción en el muelle.
- Proteger el casco del buque, evitando que entre en contacto con la superestructura de los muelles.



Figura 9.8.1 A Defensas

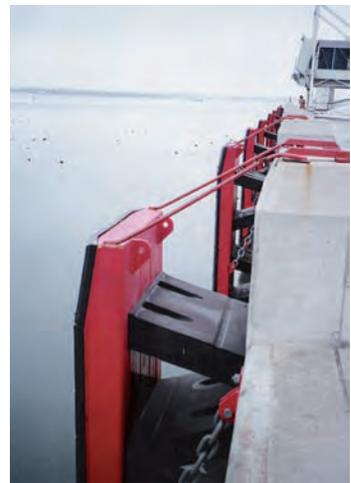


Figura 9.8.1 B Defensas

- Separar el buque del paramento del muelle, permitiendo que aquél tenga una cierta escora sin entrar en contacto con éste.

Los elementos más utilizados para el amarre de las embarcaciones son los bolardos y los ganchos de escape rápido. Éstos últimos se emplean para el amarre de buques que pueden requerir ser desatracados rápidamente.

Debe extremarse el celo para conseguir que la ALINEACIÓN de las defensas y los bolardos colocados sea ESTRICTA, puesto que éste es el aspecto por el que habitualmente se juzga la calidad del acabado de los muelles.

9.8.2 Defensas

Hay una gran variedad de tipos de defensas y, por consiguiente, de sistemas de anclaje o cuelgue en los muelles. En relación con las defensas conviene tener presente las siguientes consideraciones:

- La fabricación de las defensas, los ensayos (figura 9.8.2) y el proceso de homologación requieren períodos de tiempo dilatados, por lo que se deben hacer las provisiones con suficiente antelación (varios meses).
- La instalación de los anclajes en la viga cantil o en los macizos dispuestos al efecto se realizará con el auxilio de plantillas, las cuales tienen que estar correctamente situadas en posición y en orientación.
- Durante el transporte y almacenamiento se evitarán las deformaciones en las defensas.
- Se verificará que la longitud, la posición y la tensión de los elementos de cuelgue son los correctos según el Proyecto. De esta manera se evitarán deformaciones y roturas de las defensas, por cuanto son muy sensibles estructuralmente a estas cuestiones.



Figura 9.8.2 Ensayo de carga

9.8.3 Bolardos

Para la instalación de bolardos (figura 9.8.3 A) y ganchos de escape rápido (figura 9.8.3 B) se debe tener en consideración las siguientes cuestiones:

- Su fabricación requiere plazos prolongados, debiendo ser planificada con varios meses de anticipación.
- La instalación de los anclajes se realizará con el auxilio de plantillas, atendiendo a la posición en planta y en alzado y a la orientación de los mismos para su correcta colocación.



Figura 9.8.3 A Bolardos



Figura 9.8.3 B Bolardos



Figura 9.8.3 C Gancho de escape rápido

Ejemplo de planificación de una obra

10.1 INTRODUCCIÓN

Para ilustrar el ejemplo de planificación de una obra, se elige el “PROYECTO DE DIQUE DE ABRIGO DE BOTAFOC EN EL PUERTO DE IBIZA” (figura 10.1 A y B) por las siguientes razones:



Figura 10.1 A Dique en construcción

- Los trabajos abarcan un gran número de unidades diferentes de obra:
 - Dragado.
 - Banqueta de todo-uno y escollera.
 - Rellenos.
 - Mantos de protección de escolleras -naturales y artificiales-.
 - Fabricación, transporte a gran distancia y fondeo a mar abierto de cajones de hormigón.
 - Estructura de hormigón sumergido en el arranque del dique.
 - Un muelle de hormigón sumergido.

- Un espaldón de hormigón armado y una viga cantil con carros de encofrado.
- Un paseo marítimo.
- Conducciones, pavimentaciones, defensas y bolardos.
- Las obras están muy condicionadas por:
 - La insularidad.
 - Razones medio-ambientales.
 - Existencia de restos arqueológicos.
 - La limitación para trabajar en la temporada estival a causa de la afluencia turística.
 - La falta de canteras adecuadas.
 - El intenso tráfico de *ferrys* y embarcaciones de recreo.
- La AUTORIDAD PORTUARIA DE BALEARES, que proyecta, concursa, adjudica y dirige la Obra; la ingeniería INTECSA-INARSA, autora del Proyecto; y la UTE BOTAFOC (Dragados, Drace y Aglomsa), que construye la obra, han facilitado la información necesaria y han autorizado el uso de la misma.
- Conocimiento del Contrato.

Los autores de la Guía trabajaron en la construcción del Proyecto en calidad de Gerente de la UTE BOTAFOC y Jefa de la Obra respectivamente.

- Proyecto sobresaliente.

El DIQUE BOTAFOC (figura 10.1 C) fue merecedor del Premio Islas Baleares de Ingeniería Civil otorgado el año 2004 por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

- Empleo de equipos. Se utiliza maquinaria y se construyen instalaciones características de la Obras Marítimas, como son:
 - Dragas de succión en marcha y de rosario.
 - Gánguil de apertura por fondo.



Figura 10.1 B Dique Botafoc

- Gánguil-grúa.
- Dique flotante para la fabricación de cajones.
- Remolcadores de altura.
- Instalaciones para la clasificación de escolleras.
- Planta de fabricación de hormigón en obra.
- Planta de fabricación de hormigón para la construcción de cajones.
- Instalaciones para la fabricación de cajones.
- Parque de fabricación de bloques y escolleras artificiales.
- Encofrados para espaldón, viga cantil y hormigones sumergidos.



Figura 10.1 C Dique-muelle

10.2 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

En las obras incluidas en el “Proyecto de Dique de Abrigo de Botafoc en el Puerto de Ibiza”, se pueden distinguir cuatro partes claramente diferenciadas:

- 1) Un vial de acceso de 1200 m de longitud (figura 10.2 A) que tiene por función:
 - Permitir el acceso al Dique-muelle de Botafoc.
 - Servir de soporte a las conducciones de agua y de combustible, así como a las instalaciones eléctricas y de telefonía.
 - Crear un Paseo Marítimo.



Figura 10.2 A Vial de acceso

2) Un Dique de Abrigo de 515.85 m de longitud (figura 10.2 B), de tipología vertical cuya construcción consta de las siguientes partes:

- Un dragado en zanja hasta la cota -35 m para eliminar suelos con poca capacidad portante y permitir que el dique se cimiente sobre una capa de gravas.
- La construcción de una banqueta de cimentación con un núcleo de todo-uno de cantera clasificado y escollera de 2,5 kN.
- El enrase de la banqueta de cimentación.
- La fabricación en otro puerto, el transporte y el posterior fondeo de cajones de hormigón armado con las siguientes características (tabla 10.2):

Tipo	Nº Uds	Eslora	Manga	Puntal
A	9	43'25	21'128	21'30
B	2	42'05	21'128	21'30
C	2	28'55	12'164	17'30
D	2	28'55	12'164	11'30

Tabla 10.2 Tipología de cajones

Los once cajones de mayor tamaño forman el dique vertical y van apoyados en el fondo a la cota -20 m. Los cuatro cajones restantes, que forman el cierre y conforman un atraque ro-ro, están cimentados dos de ellos a la cota -16 m y los otros dos a la cota -10 m.

La conexión de los cajones con la zona terrestre se materializa con dos estructuras verticales de hormigón sumergido, cimentadas directamente sobre los fondos rocosos, tienen una longitud de 47.50 m y la altura varía entre 3'50 m y 10 m para adaptarse al fondo.

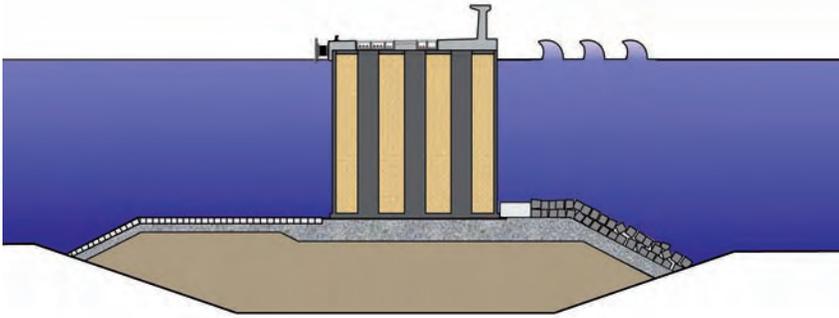


Figura 10.2 B Sección tipo del dique

Las obras se completan con el relleno de las celdas de los cajones, la construcción de la superestructura que corona a la cota +2'50 m, un espaldón de hormigón armado rebasable que llega a la cota +7'00 m, así como la instalación de bolardos para 100 t de tiro y defensas tipo SC-1450 H(RS).

- 3) Un manto exterior de refuerzo con bloques en el dique *Freu des Botafoc* (figura 10.2 C), para lo que se fabrican bloques de 150 kN que se colocan sobre una capa de escollera de 7,5 kN. La protección se completa con un espaldón de hormigón en masa coronado a la cota +5'00 m.



Figura 10.2 C Freu des Botafoc

- 4) Obras complementarias: el Proyecto contempla la construcción de un muelle auxiliar (figura 10.2 D) de 50 m de longitud y 3'50 m de calado, coronado a la cota +1,00 m de hormigón sumergido, así como la construcción de un centro de transformación, de un aljibe y de una estación de bombeo.



Figura 10.2 D Muelle auxiliar

Las mediciones más representativas son:

Dragado	189.000 m ³
Todo-uno de cantera	260.000 m ³
Escolleras naturales	260.000 t
Rellenos	280.000 m ³
Grava para enrase	15.000 t
Hormigón en cajones	56.000 m ³
Hormigón en bloques	20.000 m ³
Hormigones "in situ"	42.000 m ³
Acero armaduras	5.000 t

■ 10.3 ANÁLISIS DEL PROYECTO

El análisis del Proyecto se hace con una metodología análoga a la que se propone en esta Guía, contemplando los siguientes puntos:

- 1) VERIFICACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN que forma parte del Proyecto. Se presta especial atención a los anejos del DOCUMENTO nº 1 MEMORIA Y ANEJOS que aparecen **resaltados** a continuación:

- Anejo nº 1. Antecedentes administrativos.
- Anejo nº 2. Información Pública del Anteproyecto.
- Anejo nº 3. Estudio previo del Dique Exterior del Puerto de Ibiza realizado por el CEDEX (clave 21-450-9-165) en Diciembre de 1988.
- Anejo nº 4. Ensayos de esfuerzos y rebases sobre el Dique Exterior del Puerto de Ibiza realizado por el CEDEX (clave 21-492-9-106) en Diciembre de 1992.
- Anejo nº 5. Prediseño del Dique Exterior del Puerto de Ibiza. Informe final realizado por el CEDEX (clave 21-419-9-072) en Octubre de 1989 y estudios complementarios de fechas Enero de 1990 y Noviembre de 1994.
- Anejo nº 6. Estudio de agitación en el Puerto de Ibiza realizado por el CEDEX (clave 24-430-9-053) realizado en Enero de 1989.
- Anejo nº 7. Ampliación del estudio de agitación en el Puerto de Ibiza realizado por el CEDEX (clave 23-419-9-071) en Octubre de 1989.
- Anejo nº 8. Estudio de ondas largas en el Puerto de Ibiza realizado por el CEDEX (clave 23-464-9-079) realizado en 1990.
- Anejo nº 9. Estudio de maniobrabilidad realizado por el CEDEX en 1991.
- Anejo nº 10. Estudios sobre seguridad y agitación de las aguas en el Puerto de Ibiza.
- Anejo nº 11. Geología y geotecnia.**
- Anejo nº 12. Clima marítimo.**
- Anejo nº 13. Bases de Partida.**
- Anejo nº 14. Cálculos justificativos de la sección del dique.**
- Anejo nº 15. Cálculos estructurales de los cajones y de la superestructura del dique.
- Anejo nº 16. Cálculos de estabilidad cajón rampa ro-ro en arranque dique.
- Anejo nº 17. Vial de acceso. Cálculo de la iluminación y dimensionamiento del firme.
- Anejo nº 18. Vial de acceso. Dimensionamiento protección explanada.
- Anejo nº 19. Justificación de precios.
- Anejo nº 20. Plan de Obra.**
- Anejo nº 21. Clasificación del Contratista y fórmula de revisión de precios.
- Anejo nº 22. Estudio de Seguridad y Salud.**
- Anejo nº 23. Declaración de Impacto Ambiental.**
- Anejo nº 24. Localización de canteras en la isla de Ibiza.**
- Anejo nº 25. Plan de Control de Calidad y Programa de Vigilancia Ambiental.**
- Anejo nº 26. Plan Integral de Seguridad**
- Anejo nº 27. Estudio sobre medidas de protección contra emisiones de polvo y ruido.**
- Anejo nº 28. Plan de Integración Paisajística.**

- 2) EMPLAZAMIENTO. Antes de la firma del Acta de Replanteo, el Director de Obra, el Director del Puerto de Ibiza, el autor del Proyecto y el Representante del Contratista efectúan una visita al lugar de las obras verificando:
 - Que el emplazamiento está claramente definido.
 - La existencia de Bases de Replanteo.
 - Que el nivel de referencia del Proyecto (cota 0) es el correspondiente al del Puerto de Ibiza.
- 3) ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES. En cumplimiento del Proyecto se realizan unos trabajos previos de identificación de la flora marina en los que, además de identificar y situar claramente las praderas de "*posidonia oceánica*", se detecta la existencia del "*alga invasora caulerpa*" lo que condiciona de manera importante la ejecución de los dragados y de los vertidos. Otros aspectos ambientales que influyen en la obra son:
 - La existencia de restos arqueológicos.
 - Las medidas correctoras para limitar la producción de polvo, ruidos y olores.
 - La obligación de instalar barreras anticontaminantes.
 - La moratoria a la explotación de algunas canteras, promulgada por el Gobierno Balear.
 - La inexistencia de polvorín en la isla de Ibiza.
- 4) CLIMA MARÍTIMO. Se estudia la documentación que sobre el clima marítimo contiene el Proyecto y se considera suficiente para la planificación de las actividades marítimas.
- 5) Se comprueba la existencia de los levantamientos TOPOGRÁFICOS Y BATIMÉTRICOS, encontrándose adecuados los mismos.
- 6) Se analiza la INFORMACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA, considerándola suficiente.
- 7) En cuanto a las BASES DE PARTIDA DEL PROYECTO, se constatan las siguientes deficiencias:
 - No está considerado el cargadero para los gánguiles.
 - La cota de coronación de los cajones una vez fondeados es de solo 1'30 m sobre el nivel de la Bajamar Viva Equinoccial.
 - No se ha previsto, en la cota de enrase de la banqueta de cimentación, el asiento que se producirá al actuar sobre éste la carga del dique vertical.
- 8) Se realizan en el Laboratorio de Puertos del CEDEX los ensayos previstos en el Proyecto (figura 10.3 A) para confirmar las hipótesis del mismo.
- 9) Se analizan los PLANOS y se comprueban las MEDICIONES sin encontrar ninguna inexactitud o incorrección.



Figura 10.3 A Ensayo en modelo reducido

- 10) Se analizan las FASES CONSTRUCTIVAS y, se constata, la baja cota de coronación de los cajones (figura 10.3 B) que obliga a ejecutar la parte inferior del espaldón en épocas de calma.

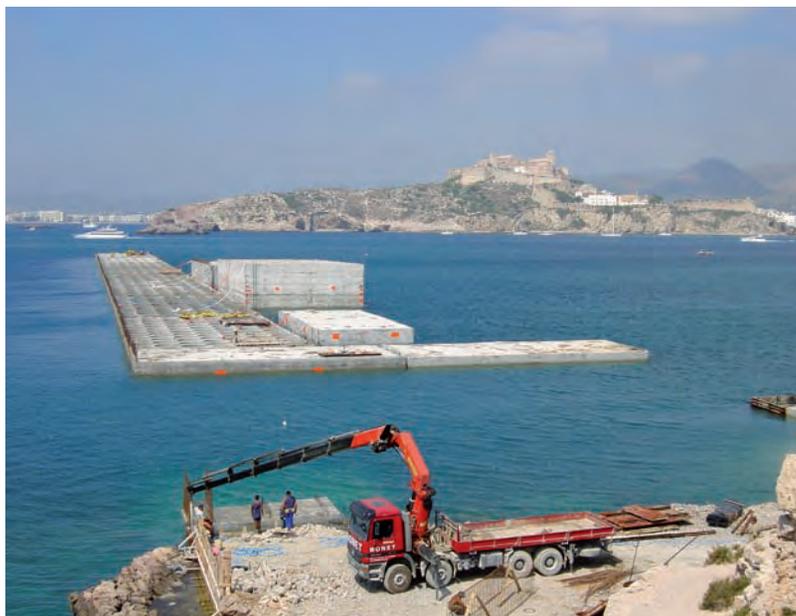


Figura 10.3 B Cajones fondeados

- 11) DISPONIBILIDAD DE SUPERFICIES. El Proyecto no considera superficie para el acopio de materiales, para la instalación de la planta de fabricación de hormigón y para los parques de fabricación de bloques (figura 10.3 C).



Figura 10.3 C Instalaciones

10.4 ESTUDIO DE CONDICIONANTES

10.4.1 Plazo y calendario

El plazo contractual de las obras del “Proyecto de Dique de Abrigo de Botafoc en el Puerto de Ibiza” es de 22 meses. No hay plazos parciales.

- Durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre, el “Consell Insular de Eivissa” no permite la realización de trabajos de construcción fuera de los límites del Puerto y, dentro de éste, la Autoridad Portuaria limita la jornada de trabajo al período comprendido entre las 8 h y las 20 h para todas aquellas actividades que produzcan polvo, ruido o puedan ocasionar molestias.
- El clima marítimo obliga a realizar el fondeo de los cajones en períodos de calma, ya que cuando el cajón se aproxima al apoyo el francobordo es de 1,3 m, por lo que no se puede realizar con altura de ola significativa superior a 70/80 cm para evitar que se embarque agua bruscamente.

10.4.2 Disponibilidad de equipos

Los equipos, necesarios para la ejecución de los trabajos, que no existen en la isla de Ibiza son:

- Dragas de succión en marcha, con capacidad para dragar a 35 m de profundidad.
- Gánguiles para el vertido del material de la banqueta.
- Equipos para el enrase de la banqueta con 20 m de calado.
- Gánguil-Grúa flotante autopropulsado.
- Equipos para la fabricación de cajones flotantes:
 - Dique flotante con capacidad para construir los cajones proyectados.
 - Muelle con calado superior a 16 m.
 - Instalaciones para la fabricación de hormigón y elaboración de las armaduras.
- Grúa para la manipulación y colocación de los bloques.
- Equipos para la carga y el transporte del material (palas y camiones). En la isla de Ibiza no existe parque suficiente para cubrir las necesidades de la Obra.
- Planta para la fabricación de hormigón, con capacidad de producción de 60 m³/h. Las plantas existentes en la isla de Ibiza no pueden asumir el incremento de producción necesario para suministrar el hormigón a la Obra.
- Silos de cemento con capacidad para almacenar 1.400 t. La isla no tiene capacidad suficiente de almacenamiento para los suministros requeridos por la Obra.
- Encofrados para bloques, hormigón sumergido, viga cantil y espaldón.

10.4.3 Materiales principales

En la isla de Ibiza, las capacidades de las canteras para suministrar los materiales para los rellenos, el todo-uno, las escolleras y los áridos son los siguientes:

Todo-uno y escollera.....	80.000 t/mes
Rellenos	25.000 m ³ /mes
Áridos para hormigón	15.000 t/mes
Cemento	Llega en barco y se almacena en silos en la propia Obra.

Las cantidades de materiales necesarios para la Obra son:

Todo-uno y escolleras.....	1.040.000 t
Rellenos	280.000 m ³
Áridos.....	135.000 t

Acero.....	1.660 t
Cemento	21.000 t
Grava para enrase	15.000 t
Para la fabricación de cajones:	
Hormigón	56.000 m ³
Acero.....	3.340 t

10.4.4 Clima marítimo y meteorología

Se estima que es suficiente la información que facilita Puertos del Estado a través de su página Web, a la que se accede de la siguiente forma:

www.puertos.es



En la página de presentación entrar en “Oceanografía y Meteorología”.



“Consulta de la predicción de oleaje de PE/AEMET”.



Entrando en la tabla portuaria de IBIZA se tiene la predicción local y en la tabla portuaria de MEDITERR7 la predicción para el área de navegación de los cajones remolcados.

No se considera necesaria la instalación de boyas para la medida de oleaje ni de correntímetros.

10.4.5 Condicionantes ambientales

Antes de iniciar las obras se realizan unos trabajos de identificación de la flora marina, que detectan la existencia del “*alga invasora caulerpa*”, lo que obliga a tomar las siguientes medidas:

- Erradicar el “*alga invasora caulerpa*” de la zona a dragar.
- Intensificar los controles y los ensayos de los productos de dragado.
- Realizar los vertidos del material dragado en el mar en zonas con profundidad mayor de 200 m.
- Limitar el “*overflow*” durante el dragado.

- Suspender los vertidos cuando la velocidad del viento sea superior a 10 m/s o la corriente supere la velocidad de 1 m/s.
- Dejar constancia de las coordenadas de los lugares de vertido.

10.4.6 Condicionantes arqueológicos

El Govern Balear requirió a la Autoridad Portuaria de Baleares la realización de unos estudios, previos al comienzo de los trabajos, para asegurar la preservación de posibles restos arqueológicos:

- Estudio de la documentación histórica para determinar la posible existencia de pecios.
- Ejecución de una campaña geofísica para detectar objetos enterrados.
- Inspección con buzos de la zona a dragar.
- Elaboración de informes previos.
- Permanencia en la obra, durante toda la fase de dragado, de un equipo de arqueólogos para estudiar los materiales obtenidos y de buzos para inspeccionar los fondos después de cada “*pasada*” de la draga.
- Catalogación de los restos encontrados.
- Redacción de informes.

10.4.7 Condicionantes de seguridad

Se considera suficiente lo expuesto en el Proyecto.

10.4.8 Licencias y permisos

Es necesario obtener permisos al margen de los que se disponen al iniciar la Planificación:

De la AUTORIDAD PORTUARIA DE BALEARES:

- Autorización para la instalación de un cargadero de gánguiles.
- Ocupación de una superficie, próxima al cargadero, para el acopio de todo-uno y escolleras.
- Ocupación de espejo de agua para mantener a flote los cajones a la espera de su fondeo.
- Ocupación de muelles para los atraques de las embarcaciones.

De la AUTORIDAD MARÍTIMA:

- Despacho y recepción de los cajones remolcados.
- Formalización del resto de la documentación de las dragas y demás embarcaciones.
- Regulación del tráfico marítimo con la instalación de una boya cardinal (figura 10.4.8) que modifica los canales de acceso al Puerto de Ibiza.
- Balizamiento provisional de la obra.
- Aprobación de cada uno de los vertidos de material procedente de dragado.



Figura 10.4.8 Boya cardinal

De la ADMINISTRACIÓN AUTONÓMICA:

- Estudios previos de restos arqueológicos que fueron requeridos para autorizar el inicio de las obras.

De la DELEGACIÓN DE GOBIERNO:

- Permiso para el transporte de explosivos.

10.4.9 Explanadas para instalaciones y acopios

La limitada capacidad de producción de las canteras de la isla de Ibiza en relación con los volúmenes que se necesitan para la Obra requiere el establecimiento de acopios, siendo imprescindible habilitar superficies. La inexistencia de superficies disponibles para acopio de materiales obliga a habilitarlas en las explanaciones de la propia Obra o en lugares próximos (figura 10.4.9).



Figura 10.4.9 Acopio de áridos

10.4.10 Accesos de tráfico.

El acceso del tráfico de obra al dique está previsto que se realice a través del vial que forman parte del Proyecto. Por ello, su construcción se planifica para que cumplan esta función en el momento necesario.

10.4.11 Interferencias con la población

La existencia de viviendas, locales comerciales y embarcaciones atracadas en las proximidades de las obras (figura 10.4.11) conlleva las siguientes implicaciones:

- Limitación del horario de trabajo en el cargadero de gánguiles al período comprendido entre las 8 y las 20 horas, con prohibición absoluta en los días festivos.
- Necesidad de regar con agua los acopios y los viales para evitar la formación de polvo.
- Cierre perimetral del recinto de la Obra y establecimiento de un servicio de vigilancia para evitar el acceso incontrolado de personas.
- Establecimiento de medidas para compatibilizar los trabajos con el movimiento de las embarcaciones de recreo.



Figura 10.4.11 Interferencias con la población

10.5 PLAN DE EJECUCIÓN

10.5.1 Memoria de ejecución

Las características, mediciones y formas previstas de ejecución de las distintas partes de la obra descritas en el apartado 10.2 *Descripción de las obras* son las siguientes:

DRAGADO

Medición	189.000 m ³
Profundidad	25/35 m
Distancia de vertido	12 millas

Condicionantes:

- Dragado en mar abierto.
- Limitación del “overflow”.
- Vertido en fondos marinos con calados superiores a 200 m.

Por su idoneidad y disponibilidad se elige la draga de succión en marcha “Volvox Iberia” (figura 10.5.1 A) con una capacidad de cántara de 6.038 m³.



Figura 10.5.1 A Draga “Volvox Iberia”

Para determinar los rendimientos esperables se fijaron las siguientes magnitudes:

- Plazo de movilización y transporte de la draga 15 días
- Plazo de primera instalación 2 días
- Velocidad operativa media 9 nudos
- Grado de llenado de la cántara sin “overflow” 25%

Con estos valores se determina el ciclo de dragado:

- Llenado de la cántara 0'75 h
- Navegación 2'70 h
- Vaciado 0'50 h
- TOTAL CICLO 3'95 h

Suponiendo que el volumen a transportar es el 115% del teórico (por esponjamiento y sobredragado) y que el coeficiente de utilización de la draga es del 80% (por clima marítimo, limitaciones ambientales, mantenimiento y averías), el plazo previsto es:

$$\text{Plazo} = \frac{189.000 \text{ m}^3 * 115 * 3'95 \text{ h / viaje}}{0'25 * 0'80 * 6038 \text{ m}^3 / \text{viaje} * 24 \text{ h / día}} = 29'6 \text{ días}$$

BANQUETA DE CIMENTACIÓN

Las magnitudes consideradas son:

Volumen de todo-uno de canteras	200.000 m ³
Escollera (natural y artificial)	200.000 t
Distancia de vertido	1 milla
Capacidad de cántara	400 m ³
Grado de llenado (todo-uno)	85 %
Grado de llenado (escolleras)	80 %

Ciclo:

Carga de gánguil	1'8 h
• Navegación (ida y vuelta)	0'40 h
• Posicionamiento y vertido	0'15 h
TOTAL CICLO	2'35 h

La jornada de trabajo se limita a 12 h, por lo que se pueden obtener 5 ciclos/día.

Duración total de los vertidos:

$$Todo - uno = \frac{200.000 \text{ m}^3}{400 \text{ m}^3 / \text{ciclo} * 0'85 * 5 \text{ ciclo} / \text{día}} = 118 \text{ días}$$

$$Escollera = \frac{200.000 \text{ Tn}}{1'8 \text{ Tn} / \text{m}^3 * 400 \text{ m}^3 / \text{ciclo} * 0'8 * 5 \text{ ciclos} / \text{día}} = 69 \text{ días}$$

PLAZO TOTAL DE LOS VERTIDOS = 187 días

Considerando que se trabajan 6 días/semana, en la planificación se considera una duración de 8 meses para la ejecución de la banqueta de cimentación.

OBSERVACIÓN:

El orden de vertido está condicionado por la colocación de los cajones, ya que hasta después de fondeado el cajón de 21,3 m de puntal, más próximo al arranque del dique, no se puede ejecutar la totalidad de la banqueta de los cajones de 17,3 m de puntal y, hasta después de fondeados éstos, no se podrá verter la totalidad de la banqueta de los cajones de 11,3 m de puntal.

El material que se requiere para la banqueta de cimentación del dique no puede ser extraído de las canteras durante los meses de Julio a Septiembre. Caso de construirse la banqueta en esos meses será necesario acopiar escolleras y todo-uno a razón de 40.000 m³ por cada uno de los meses sin suministro. Se consideran 4 m como altura media del material en los acopios.

ENRASE DE LA BANQUETA DE CIMENTACIÓN

El enrase de la banqueta de cimentación está condicionado por:

- La profundidad (20 m).
- La medición (15.000 m²).
- El clima marítimo. La banqueta se construye en mar abierto.
- El intenso tráfico de ferrys y embarcaciones de recreo.
- El volumen de grava de aportación.

Los condicionantes expuestos, unidos a la disponibilidad de los equipos, llevan a planificar el enrase con la siguiente maquinaria:

- Dragas de rosario "Luis Sánchez Guerra" (figura 10.5.1 B) con cangilones de 900 litros.
- Gánguil de apertura por fondo (figura 10.5.1 C) con 400 m³ de capacidad de cántara para el vertido de la grava.
- Embarcación auxiliar para la realización de batimetrías.

Estimamos los siguientes plazos y rendimientos:

- Incorporación de la draga (preparación para el transporte, transporte de la draga desde Valencia, montaje del rosario y posicionamiento) 20 días
- Nave Rendimiento del enrase 1.250 m²/día
- Volumen de grava a aportar 7.500 m³



Figura 10.5.1 B Dragas "Sánchez Guerra"



Figura 10.5.1 C Gánguil 400 m³

FABRICACIÓN DE CAJONES

El número y las características de los cajones a fabricar son:

Tipo	Nº Uds.	Eslora (m)	Manga (m)	Puntal (m)	Hormigón		Acero (t)
					Solera	Fuste	
A	9	43'25	21'128	21'30	566	3.995	253'4
B	2	42'05	21'128	21'30	533	3.963	243'5
C	2	28'55	12'164	17'30	215	1.385	84'9
D	2	28'55	12'164	11'30	219	896	64'4

Tabla 10.5.1.1 Características de los cajones

El orden de fondeo de los cajones, por las razones expuestas al planificar la banqueta de cimentación, es el siguiente:

- 1º) Un cajón tipo A.
- 2º) Los 2 cajones de tipo C.
- 3º) Los 2 cajones de tipo D.
- 4º) Los 8 cajones de tipo A restantes.
- 5º) Los 2 cajones de tipo B.

El orden de fabricación para optimizar los cambios de encofrado es el siguiente:

- 1º) Cajones de tipo C.
- 2º) Cajones de tipo D.
- 3º) Cajones de tipo A.
- 4º) Cajones de tipo B.

El equipo previsto para la fabricación de cajones es el siguiente:

- Dique Flotante nº2 de DRACE (10.5.1 D).
- Las instalaciones terrestres en funcionamiento en el Puerto de Valencia -incluye planta de fabricación de hormigón, taller de elaboración de armaduras, grúa torre, etc.- y un muelle con calado suficiente (18 m. en la fosa de botadura y 16 m en el resto).

Plazos previstos y rendimientos:

- La adaptación y la preparación de instalaciones en el Muelle Príncipe Felipe del Puerto de Valencia, incluyendo la incorporación del personal, la preparación del encofrado, la recepción



Figura 10.5.1 D Dique flotante nº 2

de los materiales y el estudio de las dosificaciones del hormigón está previsto realizarla en 2 meses.

- Fabricación de los cajones. En el cuadro adjunto se resume el ciclo medio para los distintos tipos de cajones.

Fases de construcción	Cajones A y B	Cajón C	Cajón D
Colocación de armadura solera	5 h	5 h	5 h
Encofrado solera	4 h	4 h	4 h
Hormigón solera (50m ³ /h)	11 h	5 h	5 h
Hormigón fuste (20cm/h)	104 h	84 h	54 h
Deslizado vacío	3 h	3 h	3 h
Retirada barras de trepa	10 h	6 h	6 h
Botadura y reflote	12 h	10 h	10 h
SUMA	149 h	117 h	87 h

Tabla 10.5.1.2 Ciclo de fabricación de cajones

Los tiempos que se adoptan a efectos de planificación son los siguientes:

Primer cajón tipo C	8 días	8 días
Segundo cajón tipo C	6 días	6 días
Cajones tipo D	4 días/unidad	8 días
Cambio encofrado tipo D a tipo A.....	10 días	10 días
Cajones de tipo A y B	7 días/unidad.....	77 días
		TOTAL 109 días

Considerando 30 días de trabajo al mes, para la fabricación de los 15 cajones (55.775 m³ de hormigón y 3.340 t de acero en armadura) se estima un plazo de 4 meses.

PREPARACIÓN DE LOS CAJONES PARA EL REMOLQUE

Los cajones tipo A y B navegan con un francobordo de 7 m, por lo que para altura de ola significativa menor de 2,5 m no requieren tapas, la preparación para el transporte consiste en:

- Instalación de los cables de remolque, de los candeleros con los cabos quitamiedos y del resto de los elementos de seguridad.
- Instalación del balizamiento.

Los cajones tipo C y D navegan con un francobordo de 2,5 m y 3,5 m respectivamente, por lo que para ser remolcados se instalarán tapas estancas con capacidad para soportar una sobrecarga de 0,01 MPa. La navegación de estos cajones se realizará con altura de ola significativa menor de 1,5 m. La preparación para el transporte se completará con la instalación de los mismos elementos que en los cajones de tipo A y B.

El tiempo de preparación para el remolque de los cajones A y B es de 5 días y 15 días para los de tipo C y D (previamente se fabrican los encofrados de las tapas a modo de prelosas).

TRANSPORTE DE CAJONES

El transporte de los cajones se realiza con un remolcador de altura a una velocidad de 2,5 nudos (1,25 m/s), por lo que para cubrir la distancia de 100 millas entre el Puerto de Valencia y el Puerto de Ibiza se requieren 40 horas.

En el transporte de vuelta con el remolcador vacío, navegando a 12 nudos (6 m/s), se requieren 8 horas.

En el Puerto de Valencia el amarre del remolque demanda 4 h y, en el Puerto de Ibiza, soltar el remolque y recuperar los elementos para reutilizarlos requiere 8 horas.

El ciclo completo se efectúa en 60 horas (a efectos de planificación se consideran 3 días).

FONDEO DE CAJONES

La operación de fondeo de los cajones, que está condicionada por el estado del mar, se planifica en las cuatro fases siguientes:

FASE 1. Preparación (figura 10.5.1 E).

En esta fase se realizan las siguientes actividades:

- Colocación de las bombas para inundación.
- Montaje a bordo del cajón del grupo hidráulico con sus polines y de los cabrestantes.

Duración prevista: 12 h.



Figura 10.5.1 E Preparación fondeo

FASE 2. Aproximación y primer lastrado (figura 10.5.1 F).

Las actividades que se realizan en esta fase son las siguientes:

- Aproximación del cajón a la zona de fondeo.
- Conexión a las anclas de los cables de maniobra.
- Lastrado hasta aproximar el cajón a 1 m de la superficie enrasada.

Duración prevista: 8 h.



Figura 10.5.1 F Primer lastrado

FASE 3. Fondeo definitivo (figura 10.5.1 G).

En esta fase se lastra el cajón mientras se guía con el tiro de los cabrestantes hasta dejarlo correctamente apoyado en el fondo para, a continuación, inundarlo totalmente.

Duración prevista: 4 h.



Figura 10.5.1 G Fondeo definitivo

FASE 4. Retirada de equipos (figura 10.5.1 H).

En esta fase se retiran los grupos hidráulicos, cabrestantes, redes, etc. y, en su caso, se coloca el balizamiento provisional.

Duración prevista: 6 h.



Figura 10.5.1 H Retirada equipo fondeo

La duración total prevista de las operaciones de fondeo es 30 horas.

En el cuadro siguiente se reflejan los valores de altura de ola significativa y período para poder realizar los trabajos de cada una de las fases.

Fase	Hs(m)	T(s)
1	1,5	9
2	1,0	8
3	0,7	7
4	1,0	8

Tabla 10.5.1.3 Alturas de ola y períodos

Se acota y planifica la habilitación de las zonas para la espera de los cajones, en caso necesario (figura 10.5.1 I), de que se den las condiciones de clima marítimo mínimas.



Figura 10.5.1 | Cajón en espera

Las corrientes y las mareas, en el lugar de la obra, son de muy pequeña cuantía y no condicionan los fondeos.

RELLENO DE CELDAS

El volumen de material para relleno de celdas de cajones es de 172.000 m³. Está previsto un suministro de 3.000 m³/día, que se obtiene con 25 camiones/hora, con 10 m³/viaje, jornadas de 12 horas de trabajo y 6 días a la semana. Además, se considera un coeficiente de utilización del 80%.

El plazo previsto a efectos de planificación es 3 meses.

BLOQUES DE GUARDA

Se planifica realizar la fabricación de 275 bloques de guarda de hormigón en masa con 5 encofrados y se efectuará una puesta al día.

Plazo $275 \div 5 \div 20 = 2,75$ meses.

A efectos de planificación se consideran 3 meses.

HORMIGÓN SUMERGIDO

Se estudian dos tipos de encofrados, uno adaptado al lado mar y otro al lado dársena. Para la estructura del lado mar se utilizará un encofrado de 12m*5m*5m a cuatro caras (figura 10.5.1 J) y otro encofrado a dos caras (figura 10.5.1 K) de 10m*4m.



Figura 10.5.1 J Encofrado a cuatro caras

Para la estructura lado dársena se utilizarán encofrados a cuatro caras y dos caras con dimensiones adaptadas a la variabilidad de las formas.



Figura 10.5.1 K Encofrado a dos caras

Los encofrados permiten el hormigonado de 200 m³/día de rendimiento medio.

MEDICIÓN:

Lado mar:	4.833 m ³
Lado dársena:	1.315 m ³

SUMA	6.148 m ³

A efectos de planificación se adopta un plazo de 2 meses.

ESPALDÓN Y SUPERESTRUCTURA

MEDICIONES:

HORMIGÓN ACERO

Espaldón (incluyendo tapones).....	10.778 m ³	759,9 t
Viga cantil y canalizaciones.....	4.785 m ³	135,9 t

Se planificará con un carro de encofrado para el espaldón de 8.66 m de longitud útil, que permite realizar 5 puestas por cada cajón.

Cada puesta tiene:

Hormigón	182 m ³
Acero.....	12,9 t

La viga cantil y la canalización se planifican con carros de encofrado de 8,66 m; también se consideran encofrados auxiliares para rampa ro-ro, martillo y canaletas.

Con un equipo de 10 personas para encofrados y hormigonado, de 12 personas para la elaboración y colocación de armaduras, se planifica un avance cada dos días de cada uno de los carros, lo que supone 105 m de avance al mes.

Plazo estimado 4,9 meses, se adopta 5 meses a efectos de planificación.

Necesidades ≈ 3.700 m³ hormigón/mes.

VIAL DE ACCESO

Mediciones:

Todo-uno y rellenos procedentes de cantera.....	113.000 m ³
Escollera de 50 Kg.....	18.800 t
Escollera 0,5 t	33.500 t

Las escolleras representan el 20% del volumen total del material a extraer de las canteras. Es conveniente suministrar a la obra conjuntamente el material que sale de cantera (rellenos y escolleras) para evitar acopios.

Estas unidades se ejecutan al inicio de la obra, por lo que se debe ser conservador en los rendimientos estimados, considerando 2.500 t/día.

Plazo: $(113.000 \times 1,8 \div 18.800 + 33.500) \div 2.000 \text{ t/día} = 102 \text{ días}$.

A efectos de planificación se adopta un plazo de 5 meses.

FABRICACIÓN DE HORMIGONES

En la Obra son necesarios 62.477 m³ de hormigón (al margen de los 55.775 m³ de hormigón de los cajones).

La capacidad de las canteras de la isla para suministrar áridos a la Obra es de 15.000 t/mes, por lo que se planifica la fabricación de los 62.500 m³ necesarios en un plazo de 10 meses. Por tanto, la capacidad de la planta debe ser:

Capacidad media = $62.500 \text{ m}^3 \div 10 \text{ meses} \div 20 \text{ días/mes} \div 8 \text{ h/días} = 39 \text{ m}^3/\text{hora}$.

La capacidad de la planta (figura 10.5.1 L) se establece en $39 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,5 = 60 \text{ m}^3/\text{h}$. En las puntas de suministro se pueden utilizar plantas de hormigón locales.

En las obras del Dique de Botafoc es de aplicación la EHE, que reglamenta el uso de cementos tipo MR, que no se utilizan ni transportan a la isla, por lo que es necesario disponer de almacenamiento de cemento para la obra de forma independiente de las instalaciones de Ibiza.

La capacidad de almacenamiento de los silos de cemento se dimensiona para las necesidades de 15 días (los suministros de cemento a la isla tienen lugar cada 10 días).

Capacidad de los silos = $6.250 \text{ m}^3/\text{mes} \times 0,5 \text{ mes} \times 0,4 \text{ t/m}^3 = 1.250 \text{ t}$.

FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN

- La fabricación de los bloques de hormigón (figura 10.5.1 M) se planifica de forma que no coincida con el grueso del resto de hormigón de la Obra (hormigón sumergido, espaldones y superestructura).



Figura 10.5.1 L Planta de hormigón

- Para la fabricación de los bloques hay que disponer de las superficies de las explanaciones de los viales.
- Se planifica la fabricación en un plazo de 5 meses, en el cuadro adjunto se resumen las mediciones y rendimientos:

BLOQUES	UDS	VOLUMEN (M ³)	FABRICACIÓN (Uds/ día)	ENCOFRADO
3 t	8.320	10.620	85	9 (1)
6 t	1.300	3.315	33	5 (2)
15 t	808	5.160	8	4 (3)

Tabla 10.5.1.4 Fabricación de bloques

- (1) Encofrado para cinco bloques, con 2 puestas/día por encofrado.
- (2) Encofrado para cuatro bloques, con 2 puestas/día por encofrado.
- (3) Encofrado por un bloque, con 2 puestas/día por encofrado.

La manipulación -carga, transporte, acopio y colocación de los bloques de 3 t y 6 t-, se hará con el auxilio de pinzas que permitan elevar simultáneamente 5 o 4 bloques respectivamente.



Figura 10.5.1 M Bloques de 15 t

Para ello se dispondrá de grúas de 150 t y 200 t, que hay que incorporar desde la península.

PROGRAMA GLOBAL DE TRABAJO

En base a las consideraciones anteriores se elabora un esquema de programa global de trabajo (figura 10.5.1 N). Con los plazos del programa global de trabajo se elaborarán los programas parciales de las distintas actividades.

10.6 PLANOS

Se adjuntan los siguientes planos:

- 10.1 Planta detallada de las obras.
- 10.4 Dique de abrigo. Disposición de cajones en planta.
- 10.5 Dique de abrigo. Zona Tronco. Sección A-A cajones.

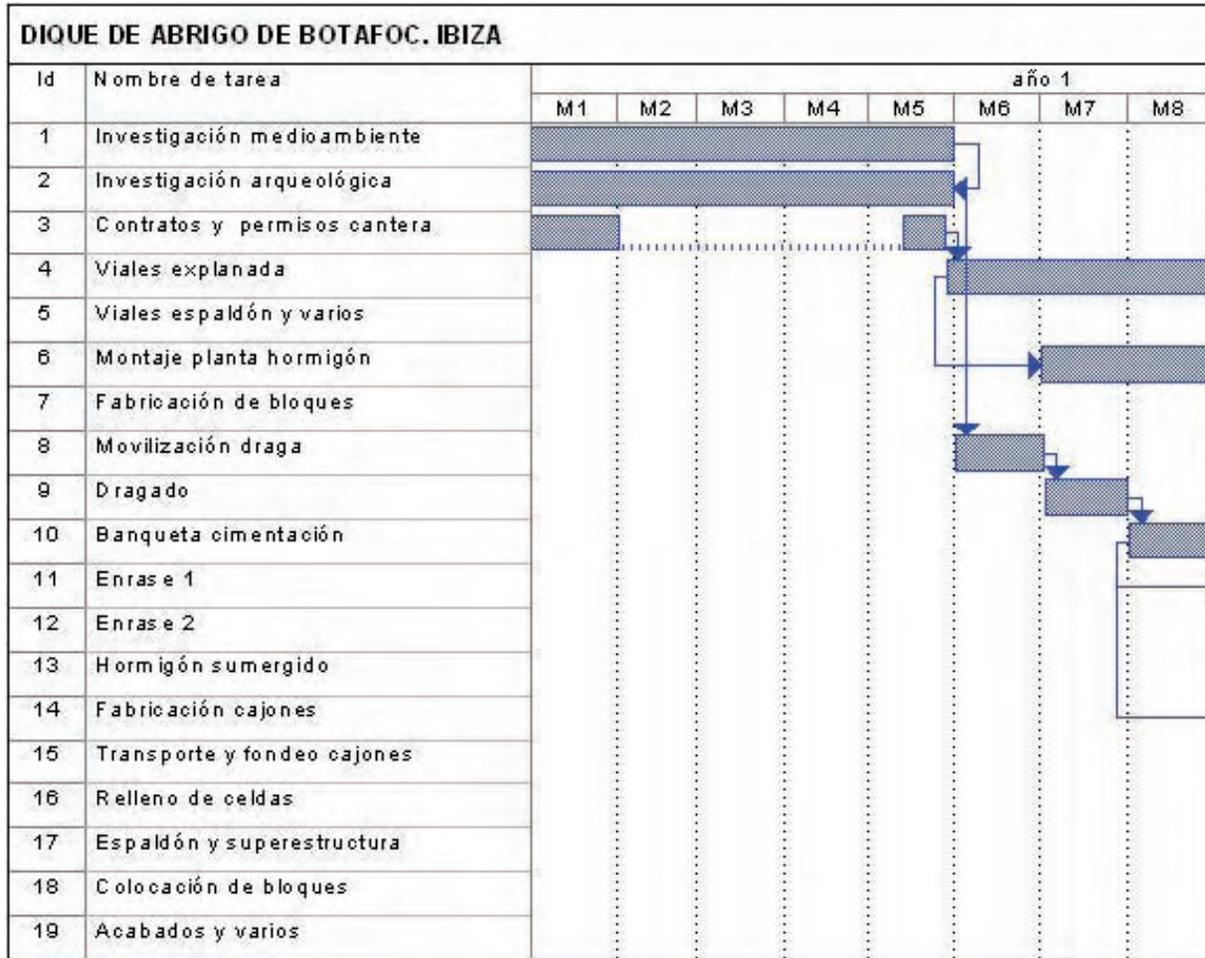
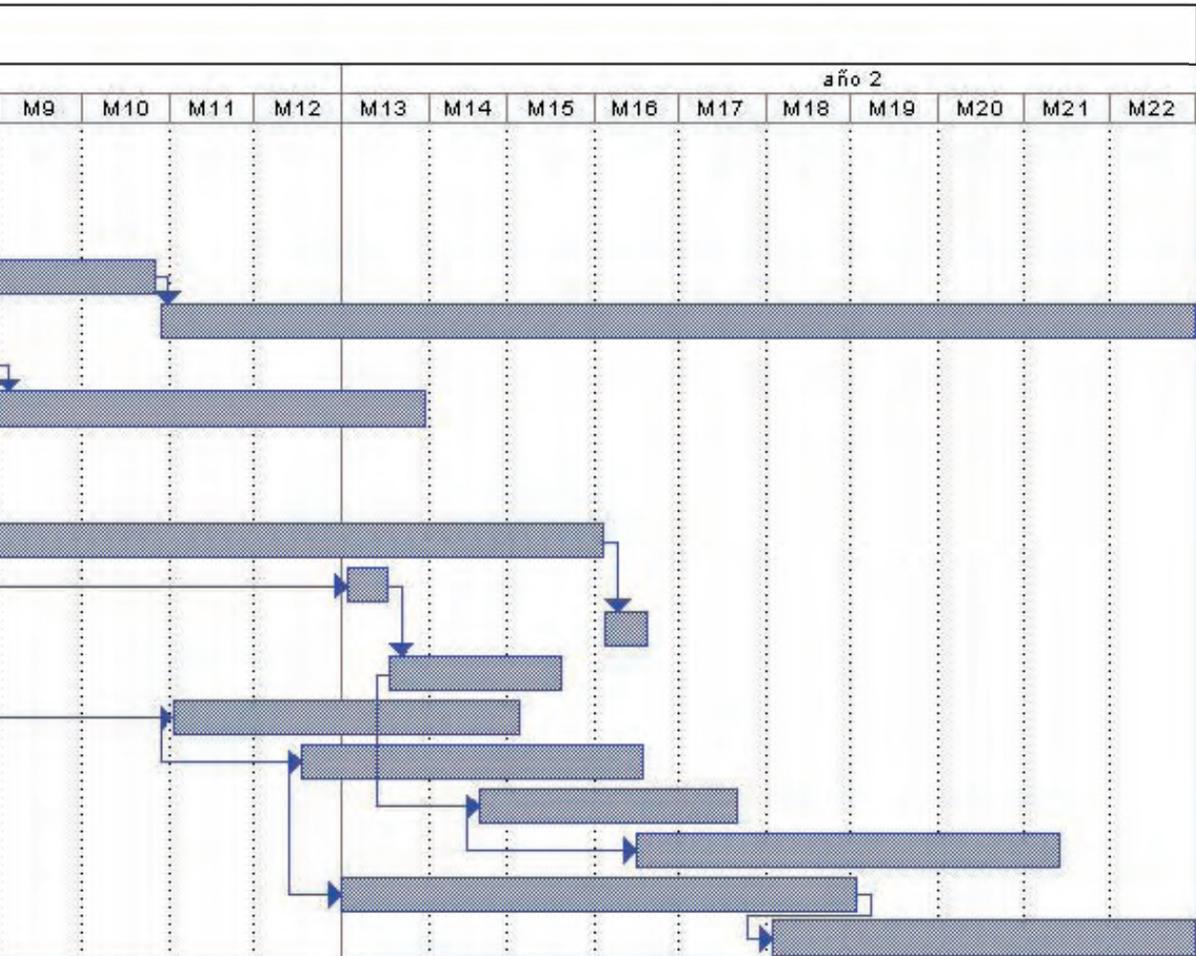
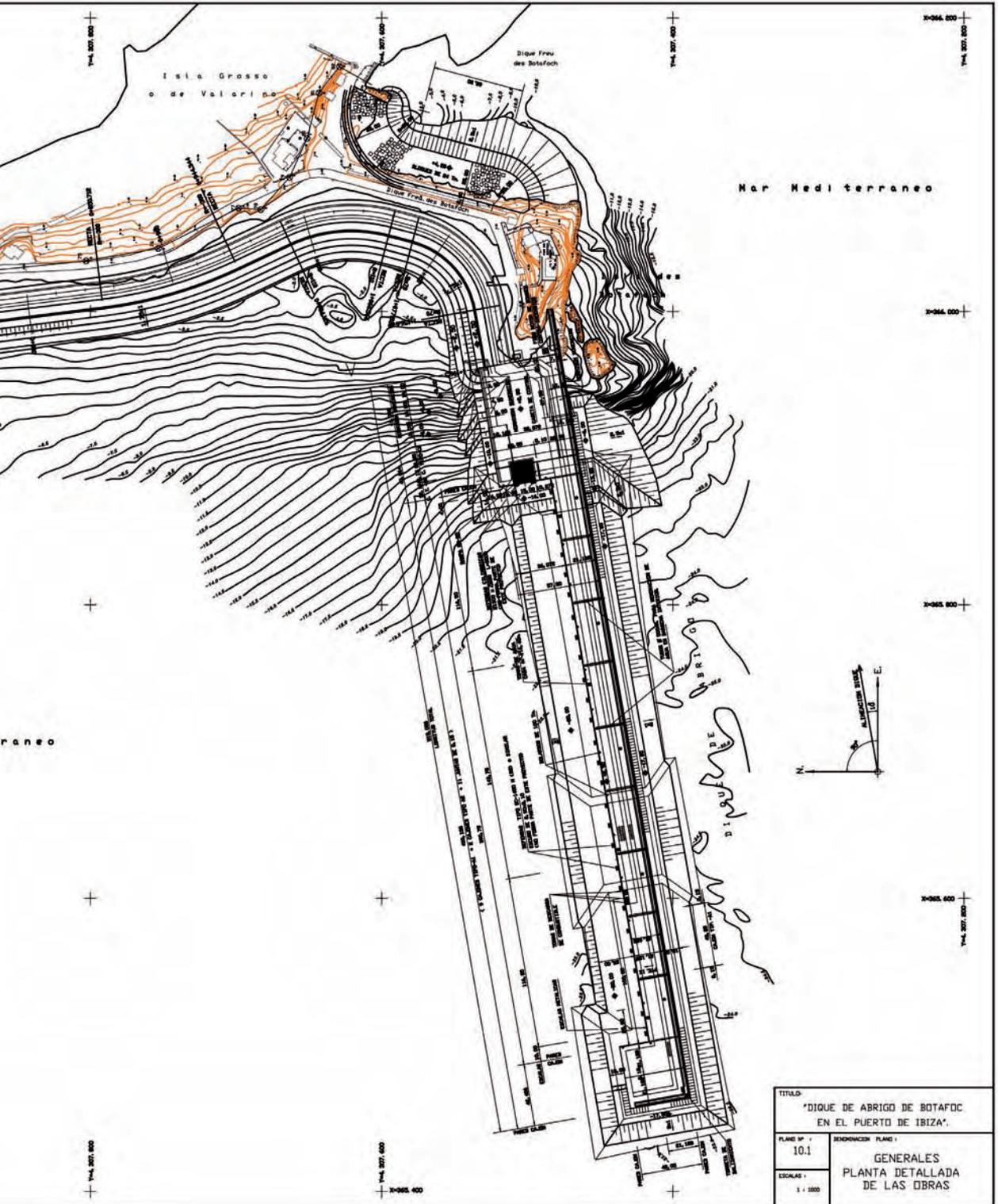


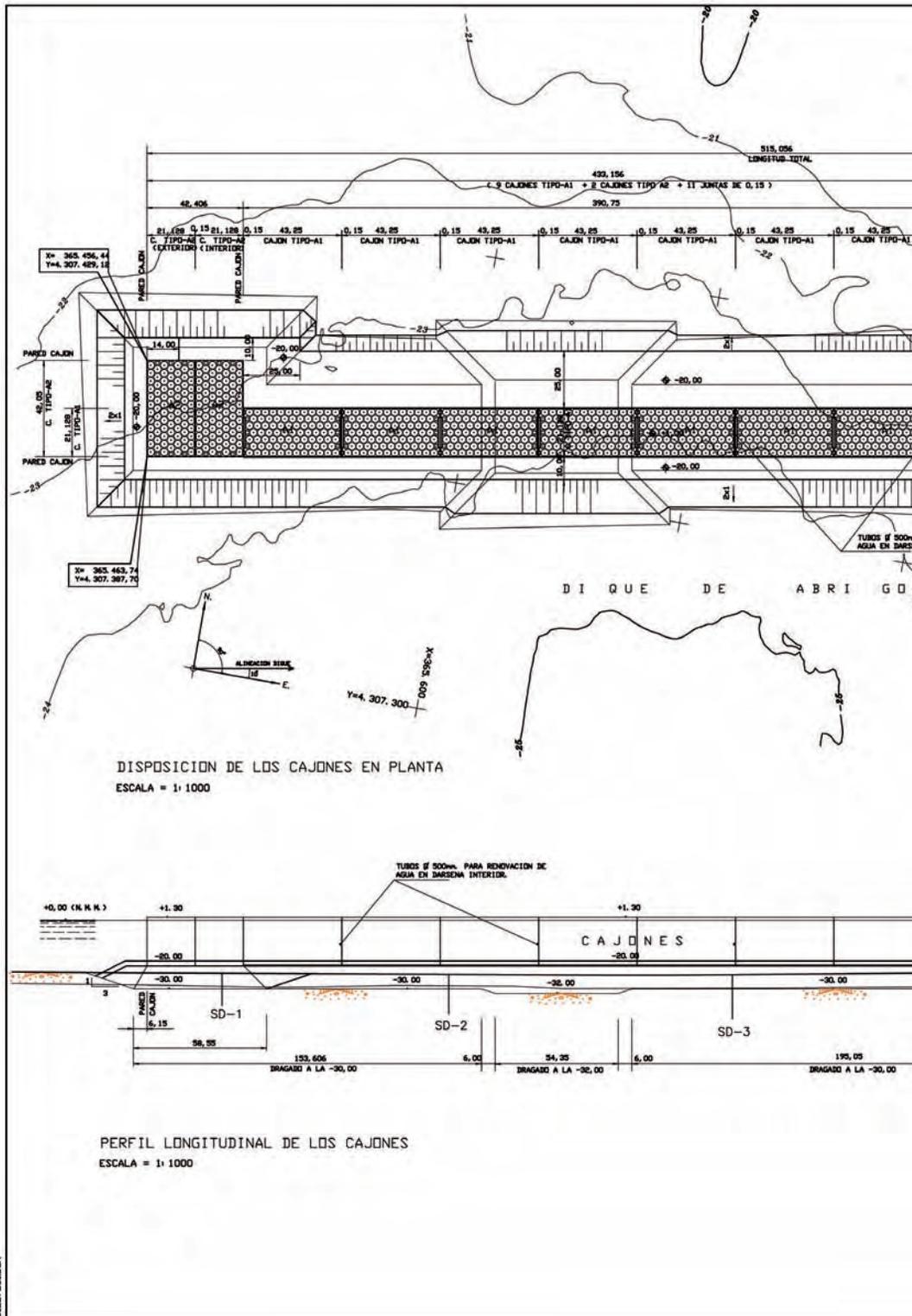
Figura 10.5.1 N Programa global de trabajo



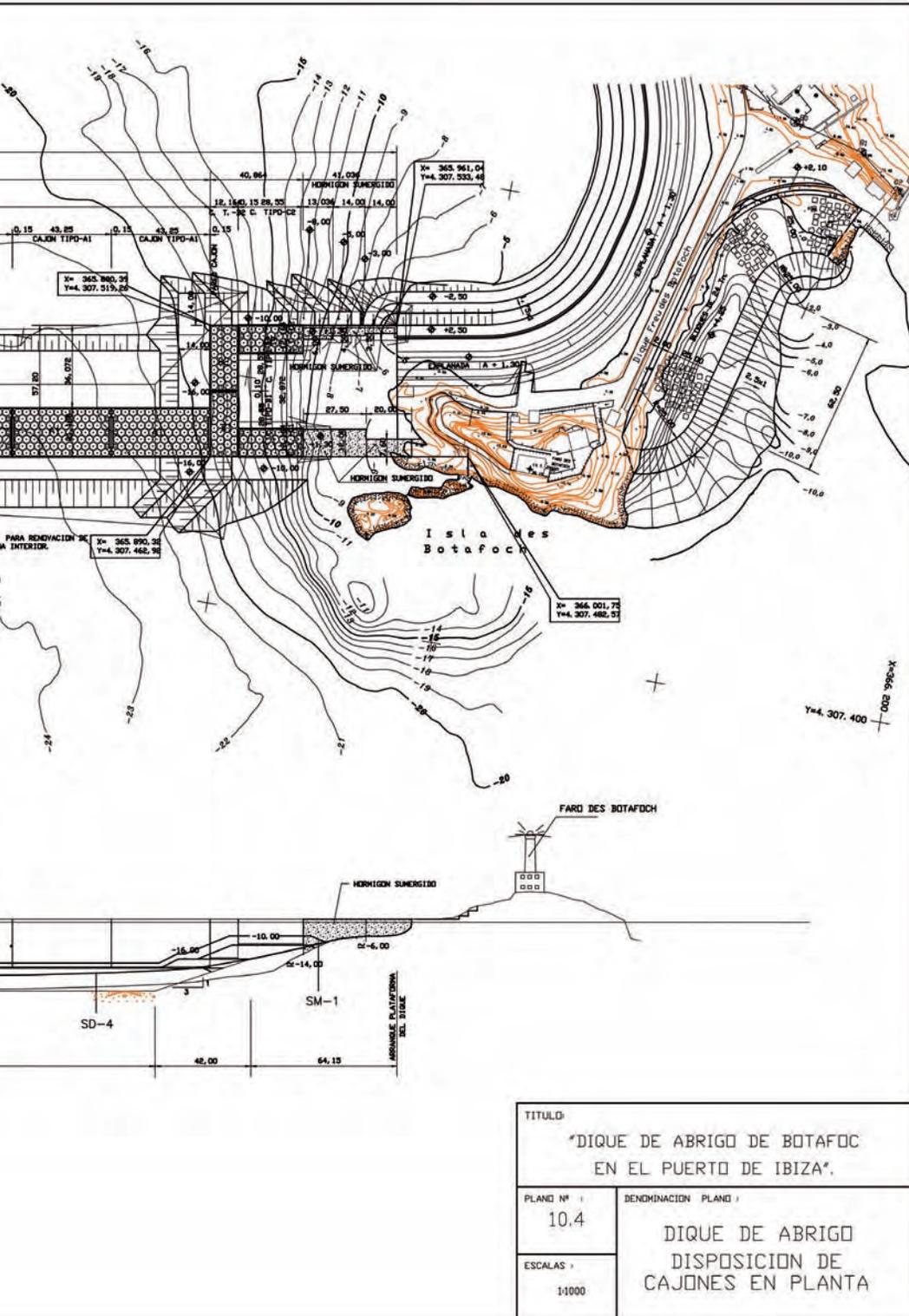


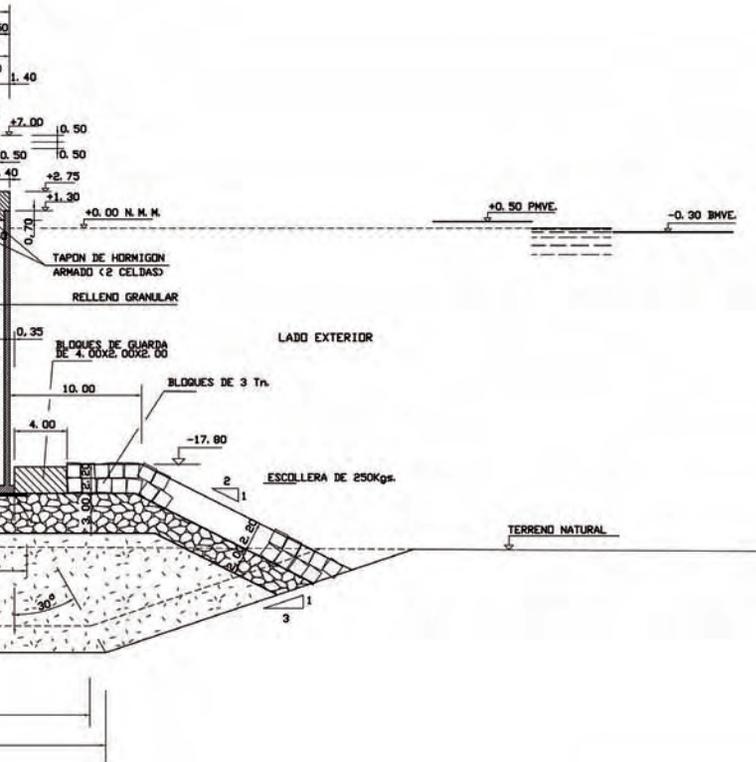
Plano 10.1 Planta detallada de las obras





Plano 10.4 Dique de abrigo. Disposición de cajones en planta





TITULO:	
"DIQUE DE ABRIGO DE BOTAFOC EN EL PUERTO DE IBIZA*.	
PLANO Nº :	DENOMINACION PLANO :
10.5	DIQUE DE ABRIGO ZONA TRONCO SECCION A-A CAJONES A COTA -20.00
ESCALAS :	
1:200	

Referencias legales y bibliográficas

GENERALES

Leyes

- Ley de Costas, 1988
- Ley 27/92 de Puertos del Estado y de la Marina Mercante, modificada por Ley 62/97.
- Régimen económico y de prestación de servicios de los puertos de interés general, 2003.
- Contratos del Sector Público, Ley 30/2007.
- Procedimientos de Contratación sectores excluidos, Ley 31/2007

Reglamentos

- Pliego de Cláusulas Administrativas Generales para la Contratación de Obras del Estado, PCAG, 1970. General para el desarrollo y ejecución de la Ley de Costas, 1988 y su corrección de errores, 1989.
- General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas. Correcciones, 2001.

Normas

- Normas y condiciones generales para la contratación de Puertos del Estado y de las Autoridades Portuarias. Orden FOM/4247/2006.

TECNICAS

Instrucciones

- Hormigón Estructural, EHE, 1999.
- Fabricación y Suministro de Hormigón Preparado, EHPRE-72, 1972.
- Recepción de cementos, Norma Básica RC-03, 2003.
- Señalización, balizamiento, defensa y limpieza y terminación de obras, 8.3-IC, 1987.

Normas

- Sismorresistente NCSR-02, 2002.
- UNE vigentes del Instituto Nacional de Racionalización y Normalización.
 - UNE-EN-1536: Pilotes perforados.
 - UNE-EN-1538: Muros de pantallas.
- Ensayo del Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo.
- Grados de herrumbre en superficies de acero y grados de preparación de estas superficies para la aplicación de pinturas anticorrosivas, SIS-055900, 1967.
- Escala europea de grados de corrosión para pinturas anticorrosivos, SIS-185111.

Pliegos

- Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, PG-4/88, 1988.

Recomendaciones

- Internacionales para el cálculo y ejecución de las obras de hormigón, 1970, del Comité Europeo del Hormigón, CEB y Federación Internacional del Pretensado, FIP.
- Recomendaciones para la Gestión del material dragado en los puertos españoles (CE-DEX), 1984.

Reglamentos

- Mercancías Peligrosas para Puertos.
- Nacional del Trabajo en la Construcción y Obras Públicas y Disposiciones complementarias.

MEDIOAMBIENTE

Leyes:

- Real Decreto Legislativo 1/2008. Aprobación del Texto Refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos.

- Ley 26/2007 de Responsabilidad Ambiental.
- Ley 34/2007 de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera.
- Ley 37/2003 del Ruido
- Ley 10/1998 de Residuos.

Reales Decretos:

- Real Decreto 1367/2007. Desarrollo parcial de la Ley del Ruido.
- Real Decreto 1513/2005. Desarrollo parcial de la Ley del Ruido
- Real Decreto 9/2005. Actividades Potencialmente Contaminantes y Suelos Contaminados.
- Real Decreto 1481/2001. Eliminación de residuos en Vertedero.
- Real Decreto 1131/1988. Desarrollo del Real Decreto Legislativo 1302/1986 (derogado) de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos.
- Real Decreto 925/1997 por el que se modifica el Reglamento de la Ley de Residuos Tóxicos y Peligrosos (derogada).
- Real Decreto 833/1975. Desarrollo de la Ley 38/1972 (derogada) de Protección del Ambiente atmosférico.

PREVENCIÓN

Año 1995

- Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales

Año 1997

- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, en su redacción dada por el Real Decreto 780/1998, de 30 de abril.
- Orden de 27 de junio de 1997 por la que se desarrolla el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, en relación con las condiciones de acreditación de las entidades especializadas como servicios de prevención ajenos a las empresas, de autorización de las personas o entidades especializadas que pretendan desarrollar la actividad de auditoría del sistema de prevención de las empresas y de autorización de las entidades públicas o privadas para desarrollar y certificar actividades formativas en materia de prevención de riesgos laborales.

- Real Decreto 1161/2001, de 26 de octubre, por el que se establece el título de Técnico superior en Prevención de Riesgos Profesionales y las correspondientes enseñanzas mínimas.
- Real Decreto 277/2003, de 7 de marzo, por el que se establece el currículo del ciclo formativo de grado superior correspondiente al título de Técnico Superior en Prevención de Riesgos Profesionales.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
Guía del INSHT del RD 485/1997 <http://www.mtas.es/insht/practice/senal.pdf>
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
Guía del INSHT del RD 486/1997 <http://www.mtas.es/insht/practice/lugares.pdf>
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
Guía del INSHT del RD 487/1997 <http://www.mtas.es/insht/practice/cargas.pdf>
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y Salud relativas al trabajo con equipos que incluye pantallas de visualización.
Guía del INSHT RD 488/1997 <http://www.mtas.es/insht/practice/pantallas.pdf>
- Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- Orden de 25 de marzo de 1998 por la que se adapta en función del progreso técnico el Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
Guía del INSHT RD 664/1997 http://www.mtas.es/insht/practice/agen_bio.pdf
- Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados graves con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- Real Decreto 1124/2000, de 16 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. (Fecha actualización 20 de octubre de 2000)
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y Salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
Guía del INSHT del RD 773/1997 <http://www.mtas.es/insht/practice/epi.pdf>
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
Guía del INSHT RD 1215/1997 <http://www.mtas.es/insht/practice/equipo1.pdf>

- Real Decreto 1216/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo a bordo de los buques de pesca.
- Real Decreto 1389/1997, de 5 de septiembre, por el que se aprueban las disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en las actividades mineras.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Resolución de 8 de abril de 1999, sobre Delegación de Facultades en Materia de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción, complementa art. 18 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre de 1997, sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.

Año 1998

- Real Decreto 1488/1998, de 10 de julio, de adaptación de la legislación de prevención de riesgos laborales a la Administración General del Estado.
- Real Decreto 1932/1998, de 11 de septiembre, de adaptación de los capítulos III y V de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, al ámbito de los Centros y Establecimientos Militares.

Año 1999

- Real Decreto 216/1999, de 5 de febrero, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en el ámbito de las Empresas de Trabajo Temporal.
- Real Decreto 258/1999, de 12 de febrero, por el que se establecen condiciones mínimas sobre la protección de la salud y la asistencia médica de los trabajadores del mar.

Año 2001

- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Guía del INSHT del RD 374/01 http://www.mtas.es/insht/practice/g_AQ.pdf
- Documento sobre límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2003 <http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm>
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Guía del INSHT del RD 614/01 http://www.mtas.es/insht/practice/g_electr.pdf

Año 2003

- Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.

Año 2004

- Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.
- Real decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Año 2005

- Real Decreto 277/2005, de 11 de marzo, por el que se modifica el Reglamento de Explosivos, aprobado por el real Decreto 230/1998, de 16 de febrero.
- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.
- Real decreto 688/2005, de 10 de junio, por el que se regula el régimen de funcionamiento de las mutuas de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales de la Seguridad Social como servicio de prevención ajeno.

Año 2006

- Real decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Real decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

- Real decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Ley 32/2006 reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción.

PUBLICACIONES DE PUERTOS DEL ESTADO

Recomendaciones de Obras Marítimas, ROM, publicadas:

- ROM 0.0. Procedimiento General y Bases de Cálculo.
- ROM 0.2-90 Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.
- ROM 0.3-91 Oleaje. Anexo 1: Atlas de Clima Marítimo en el Litoral Español.
- ROM 4.1-94 Proyecto y Construcción de Pavimentos Portuarios.
- ROM 0.4-95 Acciones climáticas II: Viento.
- ROM 3.1-99 Recomendaciones para el proyecto de la configuración marítima de los puertos: Canales de Acceso y Áreas de Flotación Marítimas.
- ROM 0.5-05 Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias.
- ROM 5.1. Calidad de las Aguas litorales en Áreas Portuarias.

Recomendaciones de Obras Marítimas, ROM, en fase avanzada de elaboración (disponibles en www.puertos.es):

- 1.1. Obras de Abrigo.
- 2.1. Obras de Atraque y Amarre.

Manual para el diseño y la ejecución de cajones flotantes de hormigón armado para obras portuarias. 2005.

Atlas de Puertos del Estado:

- Atlas de Puertos 1.989.

Inventario de Obras de Puertos del Estado:

- Diques de abrigo en España. Volumen I. Fachadas Norte y Galicia.

- Diques de abrigo en España. Volumen II. Fachadas Canarias, Suratlánticas y sur mediterránea.
- Diques de abrigo en España. Volumen III. Fachadas Levante, Cataluña y Baleares, 1988.
- Obras de atraque de cajones en España. 1988.
- Obras de atraque de bloques y pilotes en España. Fachada Norte. 1994.
- Obras de atraque de bloques y pilotes en España. Fachada Galicia. 1995.

Atlas geotécnicos de Puertos del Estado:

- Valencia
- Barcelona
- Sevilla
- Bilbao
- Algeciras

Atlas geotécnico de los Puertos Españoles, CEDEX 1997

LIBROS DE OBRAS MARÍTIMAS

- Obras marítimas. Oleaje y diques. Iribarren, R. y Nogales.
- Glosario de términos de puertos y costas: José María Berenguer e Ignacio Berenguer, 1993.
- Obras Marítimas. Del Moral Carro, R. y Berenguer Pérez, 1980
- Dragas y dragados: investigación previa para el estudio de la evolución de la tecnología de los equipos de dragado a lo largo de la historia. Modesto Viguera González y Javier Peña Abizanda
- Técnicas y problemas constructivos de las obras de ingeniería costera. Canduela Herranz, J. Curso de Ingeniería de Costas. CEDEX-CEPYC. 1986.
- Diseño de diques verticales: Vicente Negro Valdecantos.
- Diseño de diques rompeolas: Vicente Negro Valdecantos.
- Geotecnia y cimientos. Jose A. Jiménez Salas
- Handbook of port harbour engineering: geotechnical and structural aspects: Tsinker, Gregory P.
- Historical development of breakwater structures in the world. Tanimoto, K. and Goda, 1992.
- Port Engineering. Per Brum
- Random seas and design of maritime structures: Goda, Yoshimi, 1985.

- API (American Petroleum Institute) Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms.
- Rock slopes and gravel beaches under wave attack: Van der Meer, Jentse.
- Design of vertical Breakwaters: Takahashi, Shigeo.
- Coastal Engineering Manual 2002. US Army Engineering Research and Development Center.
- Dredging. A handbook for engineers. R N Bray.
- The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition) CIRIA, CUR 2007.
- Technical standards and commentaries port and harbour facilities in Japan. OCDI 2002.
- Recommendations of the committee for waterfront structures harbours and waterways EAU. 2004.
- British Standard Maritime Structures. BS 6349.
- Manuales del PIANC (www.pianc-aipcn.org).

P.V.P.: 40 €



ORGANISMO PÚBLICO PUERTOS DEL ESTADO

Avda. del Partenón, 10
Campo de las Naciones
28042 Madrid (ESPAÑA)
www.puertos.es