



CURSO/GUÍA PRÁCTICA PUERTOS Y COSTAS OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?.....	23
Introducción.	24
PARTE PRIMERA.	26
Marco general de los puertos, obras marítimas y operatividad portuaria	26
Capítulo 1: Función de los puertos en la cadena logística y en la gestión de las costas.....	26
1. Concepto de puerto, tipologías y clasificación internacional	26
a. Puertos comerciales, industriales, pesqueros, turísticos y logísticos.	26
b. Puertos de abrigo, de refugio, bases navales y marinas deportivas.	28
c. Puertos de interés general y puertos regionales o locales.	29
2. Rol de los puertos en la economía y en la ordenación del litoral	29
a. Infraestructuras estratégicas de comercio exterior y cadenas multimodales.	29
b. Puertos como nodos urbanos, industriales y logísticos.	30
c. Integración puerto-ciudad y conflictos de usos en la costa.	31
3. Elementos físicos básicos de un puerto y sus obras marítimas	32
a. Dársenas, muelles, diques de abrigo y canales de acceso.	32
b. Explanadas, almacenes, silos, depósitos y parques de mercancías.	32
c. Accesos viarios, ferroviarios y conexiones intermodales.	33
4. Agentes, gobernanza portuaria y marco regulador internacional.....	34
a. Autoridades portuarias, terminalistas, consignatarios y estibadores.	34
b. Organismos internacionales y normas técnicas de referencia.	34
c. Concesiones, autorizaciones y modelos de explotación portuaria.....	35
5. Operatividad portuaria: visión integrada infraestructura-servicio	36
a. Relación entre diseño de muelles y productividad de terminales.	36
b. Ventanas operativas: oleaje, viento, calado y maniobrabilidad.	36
c. Indicadores de nivel de servicio y competitividad portuaria.	37
6. Tendencias internacionales en puertos y costas (España y Latinoamérica)	38
a. Puertos hub y redes de feeder: concentración de tráfico.	38
b. Puertos verdes, digitalización y automatización de terminales.	38
c. Descarbonización, electrificación de muelles y transición energética.	39
Capítulo 2: Componentes y tipologías de obras marítimas en puertos y costas.....	41
1. Obras de abrigo y protección costera	41
a. Diques rompeolas en talud, diques verticales y mixtos.	41
b. Espigones, escolleras, estructuras de retención y defensas costeras.	42
c. Barreras móviles y soluciones innovadoras frente a temporales.	43
2. Obras de atraque y amarre: muelles, pantalanés y duques de alba	44
a. Muelles verticales (gravedad, cajones, tablestacas).	44
b. Muelles en voladizo y pantalanés sobre pilotes.....	44
c. Duques de alba, postes de amarre y sistemas de fondeo.	45
3. Obras de acceso marítimo y canales de navegación	46
a. Canales de acceso, zonas de maniobra y áreas de giro.	46

b. Señalización marítima, balizamiento e integración con ayudas a la navegación.	47
c. Dragados de apertura, profundización y mantenimiento.	47
4. Obras de relleno, explanadas y cimentaciones en dominio marino	48
a. Rellenos hidráulicos y mecánicos para explanadas portuarias.	48
b. Tratamiento de suelos blandos y mejora del terreno.	49
c. Transición muelle–explanada y control de asientos diferenciales.	49
5. Edificación portuaria asociada a muelles y terminales	50
a. Naves logísticas, almacenes frigoríficos y silos.	50
b. Estaciones marítimas, terminales de cruceros y edificios de servicios.	51
c. Centros de control, edificios técnicos e integración arquitectónica.	51
6. Sistemas de defensa, amarre y apoyo a la operatividad portuaria	52
a. Defensas, bolardos, pasarelas y accesos a buques.	52
b. Sistemas de ayuda al atraque, medición de esfuerzos y monitorización.	53
c. Integración con sistemas de amarre rápido y soluciones innovadoras.	53
PARTE SEGUNDA.....	55
Clima marítimo, oleaje y dinámica litoral aplicados al diseño de obras marítimas.....	55
Capítulo 3: Clima marítimo y oleaje para el diseño de diques y muelles	55
1. Variables del clima marítimo relevantes para obras portuarias	55
a. Viento, oleaje, corrientes, nivel del mar y mareas.	55
b. Tormentas, temporales de diseño y estados de mar extremos.	56
c. Combinación de acciones ambientales y periodos de retorno.....	57
2. Fuentes de información y campañas de medida en mar abierto y en puerto	58
a. Boyas, mareógrafos, radares de oleaje y satélites.	58
b. Campañas in situ, ADCP, LIDAR y series históricas.....	58
c. Curado, validación y homogeneización de datos.	59
3. Estadística de oleaje y definición de estados de diseño	60
a. Distribuciones estadísticas de altura y periodo de ola.	60
b. Rosa de oleaje, espectros direccionales y estados de mar compuestos.	60
c. Selección de estados de operación, daño limitado y fallo último.	61
4. Recomendaciones de clima marítimo en España y Latinoamérica	62
a. Zonas de alta energía del oleaje y regímenes de marea.	62
b. Particularidades de costas atlánticas, cantábricas, mediterráneas y pacíficas.	62
c. Integración de incertidumbres y factores de seguridad.	63
5. Oleaje en aguas someras e interacción con la batimetría portuaria	64
a. Refracción, difracción, reflexión y rotura del oleaje.	64
b. Agitación interior en dársenas y cuencas portuarias.	64
c. Criterios de confort y limitaciones a la operatividad de muelles.	65
6. Modelización numérica y física del oleaje para el diseño	66
a. Modelos numéricos de propagación y agitación (conceptos generales).	66
b. Modelos físicos en laboratorio: diques, muelles y accesos.....	66
c. Validación cruzada de modelos, escalas y limitaciones.....	67
Capítulo 4: Dinámica litoral, transporte de sedimentos y respuesta de la costa a las obras portuarias.....	69
1. Procesos litorales básicos y balances de sedimentos	69

a. Oleaje, corrientes litorales y transporte de sedimentos.	69
b. Erosión, acreción, barras y perfiles de playa.	70
c. Tormentas, temporales y recuperación pos-evento.	71
2. Efecto de diques, espigones y muelles en la línea de costa	72
a. Interrupción del transporte longitudinal de sedimentos.	72
b. Sobrealimentación de unas playas y erosión en otras.	72
c. Formación de tómbolos y recesión de la costa a sotavento.	73
3. Diagnóstico de problemas litorales asociados a puertos	74
a. Cierre de bocanas por sedimentación y pérdida de calados.	74
b. Retroceso de playas adyacentes a obras portuarias.	74
c. Conflictos entre protección del litoral y operatividad portuaria.	75
4. Modelización morfodinámica y evaluación de alternativas.....	76
a. Modelos numéricos de transporte litoral y evolución de la costa.	76
b. Ensayos físicos reducidos para diques, espigones y playas.	77
c. Evaluación coste-beneficio de soluciones de defensa y realimentación.	77
5. Estrategias de gestión integrada de la zona costera.....	78
a. Planes de gestión del litoral y coordinación interadministrativa.	78
b. Compatibilización de usos: puertos, turismo, pesca y conservación.	79
c. Herramientas de participación pública y resolución de conflictos.	79
6. Impacto del cambio climático en la dinámica litoral	80
a. Aumento del nivel del mar y cambios en el régimen de temporales.	80
b. Reajuste de playas y necesidad de soluciones adaptativas.....	80
c. Incorporación del horizonte climático al diseño y explotación portuaria.	81
PARTE TERCERA.	82
Estudios previos, planificación y diseño funcional de puertos y muelles	82
Capítulo 5: Estudios previos, campañas de datos y planificación de nuevos puertos y ampliaciones	82
1. Análisis de demanda, tráfico y escenarios de crecimiento	82
a. Tipos de tráfico: contenedores, graneles, líquidos, ro-ro, cruceros.....	82
b. Estudios de mercado, proyecciones y sensibilidad.	83
c. Relación entre demanda prevista, CAPEX portuario y retornos.	84
2. Estudios de emplazamiento y selección de alternativas de localización	85
a. Condicionantes físicos: batimetría, clima marítimo y geotecnia.....	85
b. Condicionantes de accesibilidad terrestre y conexiones logísticas.	86
c. Restricciones ambientales, urbanas y paisajísticas.....	86
3. Programas de reconocimiento y campañas de campo	87
a. Levantamientos batimétricos y topográficos.	87
b. Campañas geotécnicas marinas y ensayos in situ.	87
c. Campañas oceanográficas, ambientales y de calidad de agua.	88
4. Diseño de la configuración general del puerto	89
a. Esquemas de dársenas, diques y canales de acceso.	89
b. Zonas operativas, explanadas, almacenes y reservas de suelo.	89
c. Separación de usos, seguridad y zonificación funcional.....	90
5. Evaluación técnico-económica de alternativas	91
a. Criterios de funcionalidad, operatividad y flexibilidad futura.	91

b. Estimación de costes de inversión, explotación y mantenimiento.	91
c. Análisis comparativo y selección de la solución óptima.	92
6. Hoja de ruta del proyecto portuario y coordinación de actores.....	93
a. Fases del proyecto: prefactibilidad, factibilidad, diseño y ejecución.	93
b. Relación promotor–ingenierías–constructoras–operadores.	93
c. Programación temporal, hitos críticos y gestión de riesgos.	94
Capítulo 6: Diseño funcional de muelles, terminales y operatividad portuaria.....	95
1. Criterios de diseño funcional de muelles.....	95
a. Tipología de buques, calados, francobordos y alturas de muelle.	95
b. Longitudes de atraque, radios de giro y alineaciones.	96
c. Exigencias de agitación interior y tiempos de operación.	97
2. Dimensionamiento funcional de terminales.....	98
a. Terminales de contenedores, graneles sólidos, líquidos y ro-ro.	98
b. Terminales de cruceros, ferris y tráfico de pasajeros.....	99
c. Criterios de capacidad, colas, tiempos de espera y productividad.....	99
3. Equipamiento de muelles y terminales	100
a. Grúas STS, RTG, RMG, cargadores y descargadores.....	100
b. Sistemas de tuberías, brazos de carga, racks y manifolds.....	101
c. Vías ferroviarias, viales internos y equipamiento de apoyo.	101
4. Requisitos de seguridad operacional y protección portuaria.....	102
a. Navegación segura, ISPS y control de accesos.	102
b. Separación de tráficos peligrosos y protección contra incendios.	103
c. Planes de emergencia, evacuación y continuidad operativa.	103
5. Integración del diseño funcional con el diseño estructural de muelles	104
a. Cargas operacionales, sobrecargas y solicitudes a la estructura.	104
b. Interacción entre muelle, explanada, pilotes y cimentación.	105
c. Compatibilidad con etapas futuras de ampliación portuaria.	105
6. Herramientas de simulación y apoyo a la decisión	106
a. Simulación de maniobras de buques y operaciones portuarias.....	106
b. Modelos de capacidad y colas en terminales.....	107
c. Análisis de escenarios de crecimiento y adaptación de infraestructuras.....	107
PARTE CUARTA.	109
Diseño estructural de diques, muelles y estructuras marítimas	109
Capítulo 7: Tipologías y criterios de diseño de diques de abrigo y obras de protección	109
1. Diques en talud: concepto, elementos y campos de aplicación	109
a. Núcleo, filtros, capas intermedias y manto de protección.....	109
b. Bloques de hormigón, escollera y elementos especiales.	110
c. Estabilidad al deslizamiento, vuelco y hundimiento.....	111
2. Diques verticales y mixtos	112
a. Diques de cajones de hormigón armado.....	112
b. Diques de tablestacas y soluciones combinadas.....	112
c. Comportamiento frente al oleaje, reflexión y socavación.....	113
3. Cálculo y dimensionamiento de diques de abrigo.....	114
a. Acciones de oleaje, empujes hidrostáticos y sísmicos.	114

b. Verificaciones de estado límite último y de servicio.	114
c. Overtopping, seguridad de coronación y accesos.	115
4. Diseño de espigones, muros de escollera y protecciones puntuales	116
a. Estructuras de control de transporte litoral.	116
b. Protección de infraestructuras costeras y accesos.	116
c. Puertos deportivos, marinas y pequeñas instalaciones.	117
5. Transición dique–muelle y obras singulares	117
a. Cierres de bocana, pasos estrechos y condicionantes de corriente.	117
b. Soluciones de protección de taludes interiores y cuencas.	118
c. Obras especiales en entornos urbanos y patrimoniales.	119
6. Verificación, optimización y análisis de vida útil de diques	119
a. Análisis de daños aceptables y planes de mantenimiento.	119
b. Optimización de secciones, materiales y fases constructivas.	120
c. Rehabilitación y refuerzo de diques existentes.	120
Capítulo 8: Tipologías y diseño estructural de muelles, pantalanes y estructuras de atraque	122
1. Muelles de gravedad y muros portuarios	122
a. Muros de hormigón armado y ciclópeo.	122
b. Muelles de bloques y contrafuertes.	123
c. Estabilidad interna, externa y control de asentos.	124
2. Muelles de tablestacas y soluciones flexibles	125
a. Pantallas de tablestacas de acero y hormigón.	125
b. Anclajes, tirantes, arriostramientos y trasdós.	125
c. Verificación de tensiones, deformaciones y fatiga.	126
3. Muelles sobre pilotes y pantalanes	127
a. Estructuras de hormigón, acero y mixtas.	127
b. Vigas, losas, capiteles y sistemas de transmisión de cargas.	127
c. Comportamiento dinámico y efectos de impacto.	128
4. Duques de alba, estructuras de amarre y fondeo	129
a. Tipologías estructurales de duques de alba.	129
b. Cargas de amarre, tracción y torsión.	129
c. Integración con cadenas, muertos y sistemas de fondeo.	130
5. Estructuras especiales: terminales de GNL, graneles y cruceros	131
a. Plataformas para brazos de carga criogénicos.	131
b. Muelles para buques de gran porte y mega–cruceros.	131
c. Requisitos de seguridad, separación y redundancia.	132
6. Comprobación global, detallado constructivo y vida útil	133
a. Estados límite, combinaciones de carga y fatiga.	133
b. Juntas, encuentros, drenajes y detalles críticos.	133
c. Estrategias de inspección, mantenimiento y refuerzo estructural.	134
PARTE QUINTA.	136
Cimentaciones y geotecnia marítima aplicadas a muelles y diques	136
Capítulo 9: Geotecnia marítima y cimentaciones profundas para obras portuarias	136
1. Caracterización geotécnica del fondo marino	136
a. Campañas de sondeos, CPTu, ensayos in situ y de laboratorio.	136

b. Estratigrafía, suelos blandos, rellenos y capas competentes.....	138
c. Riesgos geotécnicos: licuefacción, deslizamientos y colapsos.....	139
2. Cimentaciones superficiales para diques y muelles de gravedad.....	140
a. Mejora del terreno: precarga, drenes, columnas de grava.....	140
b. Asientos, consolidación y control de deformaciones.....	141
c. Tratamientos especiales en suelos muy blandos.....	141
3. Pilotes en cimentaciones de muelles y pantalanes.....	142
a. Pilotes hincados, perforados y de gran diámetro.....	142
b. Capacidad portante axial y lateral; grupos de pilotes.....	143
c. Interacción suelo-estructura y movimientos admisibles.....	144
4. Cimentaciones de cajones de hormigón.....	144
a. Lechos de apoyo y nivelación del fondo marino.....	144
b. Arrastre, fondeo y hundimiento controlado de cajones.....	145
c. Contacto cajón-terreno y control de socavación.....	145
5. Estabilidad global de taludes y estructuras costeras.....	146
a. Análisis de estabilidad en diques en talud y rellenos.....	146
b. Efectos sísmicos y de sobrepresiones intersticiales.....	147
c. Medidas de estabilización y refuerzo.....	147
6. Monitorización geotécnica y gestión del riesgo de cimentaciones.....	148
a. Instrumentación geotécnica y auscultación.....	148
b. Control de asientos, desplazamientos y presiones de poros.....	148
c. Integración de la información geotécnica en la gestión del activo.....	149
PARTE SEXTA.....	150
Materiales, durabilidad y corrosión en ambiente marino.....	150
Capítulo 10: Materiales, durabilidad y corrosión en estructuras portuarias.....	150
1. Hormigón armado y pretensado en ambiente marino.....	150
a. Ataque por cloruros y sulfatos; carbonatación.....	150
b. Recubrimientos, dosificaciones y requisitos de durabilidad.....	151
c. Diseño para vida útil prolongada y mantenimiento reducido.....	152
2. Aceros y elementos metálicos en obras marítimas.....	153
a. Tablestacas, pilotes metálicos, defensas y bolardos.....	153
b. Corrosión generalizada, localizada y por fatiga.....	153
c. Diseños de detalle para minimizar daños por corrosión.....	154
3. Rocas, escolleras y piezas especiales de protección.....	155
a. Criterios de selección de escollera natural.....	155
b. Calidad, durabilidad y rotura por meteorización.....	155
c. Bloques prefabricados y unidades artificiales.....	156
4. Sistemas de protección frente a la corrosión.....	157
a. Revestimientos, pinturas y recubrimientos protectores.....	157
b. Protección catódica galvánica e impresa.....	157
c. Control de calidad en ejecución y mantenimiento.....	158
5. Vida útil, inspecciones y planes de mantenimiento de materiales.....	159
a. Estrategias de diseño basado en vida útil (LCC).....	159
b. Programas de inspección visual, ensayos y diagnósticos.....	159
c. Priorización de intervenciones y optimización de costes.....	160

6. Innovación en materiales para puertos y costas	161
a. Hormigones de altas prestaciones y materiales compuestos.	161
b. Materiales “verdes”, soluciones de bajo impacto ambiental.....	161
c. Ejemplos de aplicación en España y Latinoamérica.....	162
PARTE SÉPTIMA.	164
Métodos constructivos, dragados y control de obra marítima	164
Capítulo 11: Construcción de diques, muelles, dragados y rellenos portuarios	164
1. Organización de obra y medios auxiliares marítimos	164
a. Gánguiles, pontonas, grúas flotantes y equipos de dragado.	164
b. Logística de acopios, transporte de materiales y fondeos.	165
c. Planificación de tareas en función del clima marítimo.	166
2. Construcción de diques en talud y diques verticales	167
a. Vertido y colocación de escollera y mantos de protección.	167
b. Fabricación, remolque y fondeo de cajones de hormigón.	168
c. Control de geometría, calidad y tiempos de ejecución.	168
3. Construcción de muelles de gravedad, tablestacas y pilotes	169
a. Hinca de tablestacas y ejecución de anclajes.	169
b. Vaciado, armado y hormigonado en entorno marino.....	170
c. Hinca de pilotes, vigas cabezal y losas de muelle.	170
4. Dragados y gestión de materiales de dragado	171
a. Dragados de apertura, profundización y mantenimiento.	171
b. Tipos de dragas y selección del equipo adecuado.	172
c. Gestión ambiental de materiales dragados y vertidos.	172
5. Rellenos y ejecución de explanadas portuarias	173
a. Rellenos hidráulicos, mecánicos y compactación.....	173
b. Control de asentos y mejora del terreno durante la obra.....	174
c. Control de calidad y auscultación.	174
6. Control técnico, certificación y cierre de obra	175
a. Ensayos, control de calidad y documentación técnica.	175
b. Recepción, puesta en servicio y certificaciones.	175
c. Lecciones aprendidas y transferencia a manuales de mantenimiento.....	176
PARTE OCTAVA.	178
Operatividad portuaria, explotación y mantenimiento de muelles y diques.....	178
Capítulo 12: Operatividad, explotación y mantenimiento de infraestructuras portuarias 178	
1. Criterios de operatividad portuaria en explotación	179
a. Agitación interior, viento, corrientes y visibilidad.	179
b. Ventanas operativas, tiempos de cierre y restricciones.....	180
c. Indicadores de rendimiento y servicio al buque.....	180
2. Gestión de la explotación de muelles y terminales	181
a. Planificación de atraques y asignación de recursos.	181
b. Coordinación con prácticos, remolcadores y amarradores.....	182
c. Sistemas de información portuaria y digitalización.	182
3. Inspección, mantenimiento y rehabilitación de muelles	183
a. Programas de inspección periódica (visual y detallada).....	183

b. Reparaciones de hormigón, acero y elementos metálicos.	184
c. Refuerzo estructural, recrecidos y prolongaciones de muelles.	184
4. Mantenimiento de diques, defensas costeras y canales de acceso	185
a. Control del estado de escolleras y mantos de protección.	185
b. Actuaciones frente a daños por temporales.	186
c. Programas de dragado de mantenimiento y gestión de calados.	186
5. Gestión de activos portuarios y ciclo de vida	187
a. Inventario de activos y sistemas de gestión (asset management).	187
b. Coste del ciclo de vida (LCC) y priorización de inversiones.	187
c. Integración de modelos BIM y gemelo digital en puertos.	188
6. Seguridad, emergencias y continuidad operativa	189
a. Planes de emergencia ante temporales, vertidos y accidentes.	189
b. Resiliencia operacional frente a eventos extremos.	189
c. Coordinación con protección civil y autoridades marítimas.	190
PARTE NOVENA.	191
Gestión ambiental, cambio climático y resiliencia en puertos y costas.....	191
Capítulo 13: Gestión ambiental, cambio climático y adaptación de infraestructuras portuarias	191
1. Marco ambiental de los proyectos portuarios	192
a. Evaluaciones ambientales de obras marítimas.	192
b. Impactos sobre hábitats, fauna marina y calidad del agua.	193
c. Medidas preventivas, correctoras y de compensación.	193
2. Emisiones, energía y puertos sostenibles	194
a. Estrategias de descarbonización en puertos.	194
b. Electrificación de muelles (OPS) y energías renovables.	195
c. Gestión de residuos, vertidos y ruidos.	196
3. Impacto del cambio climático en puertos y costas.....	196
a. Escenarios de aumento del nivel del mar.	196
b. Cambios en los regímenes de temporales y marea.	197
c. Evaluación de vulnerabilidad de infraestructuras portuarias.	197
4. Estrategias de adaptación y resiliencia.....	198
a. Sobreelevación de muelles, diques y edificaciones.	198
b. Soluciones basadas en la naturaleza y restauración de ecosistemas.	199
c. Planes de adaptación en España y Latinoamérica.	199
5. Planes de gestión ambiental en explotación portuaria	200
a. Seguimiento de calidad del agua y sedimentos.	200
b. Gestión de dragados, vertidos y zonas de depósito.	201
c. Auditorías ambientales y certificaciones voluntarias.	201
6. Integración ambiental en el diseño, construcción y mantenimiento.....	202
a. Criterios ambientales en pliegos y contratos.	202
b. Indicadores de desempeño ambiental y social (ESG).	202
c. Comunicación con la comunidad y licencia social para operar.	203
PARTE DÉCIMA.	205
Gestión de proyectos, contratos y control de costes en obras marítimas	205

Capítulo 14: Gestión de proyectos, contratos y control de costes en obras portuarias internacionales.....205

1. Ciclo de vida del proyecto de obra marítima	205
a. Fases de planificación, diseño, licitación y construcción.....	205
b. Puesta en servicio, operación y cierre o reconversión.....	207
c. Hitos críticos y gestión de riesgos.....	207
2. Modelos contractuales en proyectos portuarios	208
a. Contratación tradicional y diseño–construcción.....	208
b. EPC, concesiones, PPP y otros esquemas.....	209
c. Reparto de riesgos entre promotor, ingenierías y contratistas.....	210
3. Presupuestos, mediciones y control de costes.....	211
a. Estructura de costes en obras marítimas (CAPEX/OPEX).....	211
b. Mediciones de diques, muelles, dragados y rellenos.....	211
c. Control de desviaciones y análisis de reclamaciones.....	212
4. Planificación de obra y programación de actividades	213
a. Planes de trabajo condicionados por clima marítimo.....	213
b. Diagramas de Gantt, ruta crítica y ventanas de ejecución.....	213
c. Gestión de interferencias con la explotación portuaria.....	214
5. Gestión contractual de cambios, reclamaciones y disputas.....	215
a. Órdenes de cambio, ampliaciones de plazo y revisiones de precios.....	215
b. Reclamaciones por clima marítimo, geotecnia y imprevistos.....	216
c. Mecanismos de resolución de conflictos y arbitraje técnico.....	216
6. Buenas prácticas de gestión en proyectos portuarios en España y Latinoamérica	217
a. Casuística típica de retrasos y sobrecostes.....	217
b. Lecciones aprendidas en proyectos representativos.....	218
c. Recomendaciones para promotores, proyectistas y contratistas.....	218

PARTE UNDÉCIMA.....220

HERRAMIENTAS DE PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES. CHECKLISTS Y FORMULARIOS TÉCNICOS220

Capítulo 15: Checklists y formularios para estudios previos, clima marítimo y diseño conceptual.....220

CHECKLIST Nº 15.01 — Recopilación de datos de clima marítimo y condiciones de sitio	220
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	221
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	221
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	222
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	222
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	223
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	223
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI).....	223
Sección 8. Evidencias y referencias	224
CHECKLIST Nº 15.02 — Campañas de campo y reconocimientos para proyectos portuarios	224
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	224
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	225
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	225
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	226

Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	226
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	226
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	227
Sección 8. Evidencias y referencias	227
CHECKLIST Nº 15.03 — Análisis de demanda y funcionalidad portuaria	227
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	228
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	228
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	228
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	229
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	229
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	229
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	230
Sección 8. Evidencias y referencias	230
CHECKLIST Nº 15.04 — Selección de emplazamiento y configuración general	230
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	231
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	231
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	231
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	232
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	232
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	232
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	233
Sección 8. Evidencias y referencias	233
CHECKLIST Nº 15.05 — Integración de requisitos ambientales y de cambio climático.....	234
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	234
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	234
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	235
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	235
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	235
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	236
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	236
Sección 8. Evidencias y referencias	236
FORMULARIO Nº 15.06 — Formato tipo de informes de prefactibilidad y factibilidad en proyectos portuarios	237
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	237
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	237
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	238
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	238
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	238
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	239
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	239
Sección 8. Evidencias y referencias	239
Capítulo 16: Checklists y formularios para diseño estructural, cimentaciones, materiales y durabilidad.....	240
CHECKLIST Nº 16.01 — Diseño estructural de diques de abrigo	240
Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	240
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	241
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	241
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	242
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	242

Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	242
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	243
Sección 8. Evidencias y referencias	243

CHECKLIST Nº 16.02 — Diseño de muelles, pantalanos y duques de alba243

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	244
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	244
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	244
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	245
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	245
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	245
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	246
Sección 8. Evidencias y referencias	246

CHECKLIST Nº 16.03 — Geotecnia y cimentaciones para obras portuarias.....246

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	247
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	247
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	247
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	248
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	248
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	248
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	249
Sección 8. Evidencias y referencias	249

CHECKLIST Nº 16.04 — Materiales y requisitos de durabilidad en obras marítimas249

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	249
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	250
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	250
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	251
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	251
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	251
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	252
Sección 8. Evidencias y referencias	252

FORMULARIO Nº 16.05 — Revisión de planos, detalles y coordinación de disciplinas252

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	253
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	253
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	253
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	254
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	254
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	254
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	255
Sección 8. Evidencias y referencias	255

FORMULARIO Nº 16.06 — Fichas técnicas de elementos clave en obras marítimas255

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	255
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	256
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	256
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	256
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	257
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	257
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	258
Sección 8. Evidencias y referencias	258

Capítulo 17: Checklists y formularios para construcción, explotación, inspección y

mantenimiento259

CHECKLIST Nº 17.01 — Planificación y puesta en marcha de obra marítima259

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	259
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	260
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	260
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	261
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	261
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	262
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	262
Sección 8. Evidencias y referencias	262

CHECKLIST Nº 17.02 — Control de calidad en obra marítima263

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	263
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	263
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	264
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	264
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	264
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	265
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	265
Sección 8. Evidencias y referencias	265

CHECKLIST Nº 17.03 — Seguridad y salud en obras marítimas266

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	266
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	266
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	267
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	267
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	268
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	268
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	268
Sección 8. Evidencias y referencias	269

CHECKLIST Nº 17.04 — Inspección de muelles y diques en servicio269

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	269
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	269
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	270
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	270
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	271
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	271
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	271
Sección 8. Evidencias y referencias	271

CHECKLIST Nº 17.05 — Mantenimiento y rehabilitación de infraestructuras portuarias272

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	272
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	272
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	273
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	273
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	273
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	274
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	274
Sección 8. Evidencias y referencias	274

FORMULARIO Nº 17.06 — Informe de inspección, mantenimiento y estado de la infraestructura portuaria275

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	275
---	-----

Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	275
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	276
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	276
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	276
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	277
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	277
Sección 8. Evidencias y referencias	277

Capítulo 18: Checklists y formularios ambientales, de riesgos y resiliencia portuaria.....278

CHECKLIST Nº 18.01 — Evaluación ambiental de obras marítimas278

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	278
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	279
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	279
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	280
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	280
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	280
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	281
Sección 8. Evidencias y referencias	281

CHECKLIST Nº 18.02 — Riesgos climáticos y de cambio climático en puertos y costas.....281

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	282
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	282
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	282
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	283
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	283
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	283
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	284
Sección 8. Evidencias y referencias	284

CHECKLIST Nº 18.03 — Planes de emergencia y continuidad operativa en puertos.....284

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	285
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	285
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	285
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	286
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	286
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	286
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	287
Sección 8. Evidencias y referencias	287

CHECKLIST Nº 18.04 — Proyectos portuarios en España y Latinoamérica (condicionantes y requisitos)287

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	288
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	288
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	288
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	289
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	289
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	290
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	290
Sección 8. Evidencias y referencias	290

FORMULARIO Nº 18.05 — Matrices de riesgos y oportunidades en proyectos portuarios291

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	291
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	291
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	292

Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	292
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	293
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	293
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	293
Sección 8. Evidencias y referencias	293

FORMULARIO Nº 18.06 — Anexos técnicos, ambientales y de recepción en pliegos y contratos de obras marítimas

Sección 1. Identificación y alcance del expediente/proyecto	294
Sección 2. Datos del activo/terreno/inmueble (y/o del contrato/licencia)	294
Sección 3. Requisitos y verificaciones técnicas/urbanísticas/financieras	295
Sección 4. Riesgos, seguridad y cumplimiento normativo	295
Sección 5. Plazos, hitos y condicionantes.....	296
Sección 6. Costes, importes y garantías (si aplica)	296
Sección 7. Aprobaciones y firmas (RACI)	296
Sección 8. Evidencias y referencias	297

PARTE DUODÉCIMA.298

Práctica de puertos y costas: obras marítimas, clima marítimo y diseño de muelles.....298

Capítulo 19: Casos prácticos de diseño y refuerzo de muelles, diques y obras marítimas .298

1. Caso práctico 1: diseño de muelle multipropósito en puerto de contenedores.....	298
a. Condicionantes de clima marítimo y geotecnia.	298
b. Alternativas de tipología estructural y selección final.....	299
c. Lecciones aprendidas de diseño y construcción.....	300
2. Caso práctico 2: dique de abrigo en zona de temporales severos	301
a. Definición de oleaje extremo y diseño del manto de protección.....	301
b. Daños en temporales y refuerzo del dique.	302
c. Gestión del riesgo residual y mantenimiento.....	303
3. Caso práctico 3: refuerzo de muelle antiguo por aumento de cargas.....	303
a. Evaluación estructural y detección de patologías.	303
b. Alternativas de refuerzo y solución adoptada.....	304
c. Mejora de operatividad y vida útil.....	305
4. Caso práctico 4: muelle sobre pilotes en suelos blandos	306
a. Condicionantes geotécnicos y de asentamientos.	306
b. Diseño de pilotes y losa de muelle.	306
c. Monitorización en explotación y ajustes.	307
5. Caso práctico 5: adaptación de muelles al aumento del nivel del mar	308
a. Diagnóstico de vulnerabilidad.	308
b. Sobreelevación, recrecido y soluciones complementarias.	308
c. Integración con la operación portuaria en servicio.	309
6. Síntesis de lecciones técnicas y de gestión en los casos de diseño y refuerzo.....	310
a. Factores de éxito y errores frecuentes.....	310
b. Recomendaciones para futuros proyectos.....	310
c. Traslado a checklists y formularios de la guía.....	311

Capítulo 20: Casos prácticos de operatividad, mantenimiento y gestión ambiental en puertos y costas

1. Caso práctico 6: problema de agitación interior y limitación de operatividad.....	312
---	------------

a. Diagnóstico de la agitación y sus causas.	312
b. Medidas correctoras: obras, explotación y equipamiento.	313
c. Resultados tras la intervención y mejora operativa.	314
2. Caso práctico 7: plan de mantenimiento integral de un sistema de muelles	314
a. Inventario de activos y diagnóstico inicial.	314
b. Priorización de actuaciones y calendario.	315
c. Resultados económicos y de servicio.	315
3. Caso práctico 8: gestión de dragados de mantenimiento y medio ambiente	316
a. Problemas de sedimentación en canales y dársenas.	316
b. Programa de dragado, gestión de materiales y seguimiento ambiental.	317
c. Lecciones aprendidas y optimización de costes.	317
4. Caso práctico 9: respuesta a un evento extremo y recuperación de un puerto	318
a. Daños en diques, muelles y explanadas.	318
b. Medidas de emergencia y restablecimiento de la operatividad.	318
c. Refuerzo posterior y mejora de la resiliencia.	319
5. Caso práctico 10: proyecto portuario en Latinoamérica con fuerte condicionante social y ambiental.....	320
a. Conflictos y expectativas de la comunidad.	320
b. Medidas de integración social y ambiental.	320
c. Conclusiones sobre licencia social para operar.	321
6. Conclusiones generales de los casos prácticos.....	321
a. Factores clave de éxito técnico, económico y ambiental.	321
b. Importancia de la planificación y de la gestión de riesgos.	322
c. Cómo utilizar la guía en proyectos futuros (España y Latinoamérica).....	322
Capítulo 21: Casos prácticos de puertos y costas: obras marítimas, clima marítimo y diseño de muelles.....	324
Caso práctico 1. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Planificación de un muelle multipropósito para tráfico mixto	324
Causa del Problema	324
Soluciones Propuestas.....	325
1. Alternativa A: Nueva dársena con muelle de gravedad de cajones y ampliación de explanadas	325
2. Alternativa B: Muelle sobre pilotes y pantalán fijo con pasarela de conexión	327
3. Proceso de evaluación comparada, análisis económico y decisión	328
Consecuencias Previstas.....	329
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	331
Lecciones Aprendidas	332
Caso práctico 2. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Refuerzo de un dique en talud frente a temporales extremos.....	335
Causa del Problema	335
Soluciones Propuestas.....	336
1. Incremento del peso del manto principal y recrecido del talud	336
2. Ejecución de un muro de coronación elevado y mejora del intradós.....	337
3. Protección del pie del dique y bermas de estabilidad (solución combinada con adaptación al cambio climático).....	338
Consecuencias Previstas.....	339
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	341
Lecciones Aprendidas	342

Caso práctico 3. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Refuerzo estructural de un muelle de gravedad por aumento de cargas operativas 344

Causa del Problema	344
Soluciones Propuestas.....	345
1. Refuerzo mediante losa de reparto y mejora de explanada	345
2. Refuerzo del muelle mediante pilotes y viga de atado (refuerzo a base de estructura sobre pilotes "pegada" al muro).....	346
3. Reconversión parcial mediante nueva estructura de atraque adelantada (plataforma sobre pilotes adosada por el lado del mar)	347
Consecuencias Previstas.....	348
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	349
Lecciones Aprendidas	351

Caso práctico 4. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Diseño de un muelle sobre pilotes en suelos blandos con condicionantes sísmicos y ambientales 353

Causa del Problema	353
Soluciones Propuestas.....	354
1. Selección de tipología estructural y configuración geométrica	354
2. Diseño geotécnico-estructural de la cimentación profunda	355
3. Estrategia de construcción y fases de obra	356
4. Integración funcional y de mantenimiento en el ciclo de vida	357
Consecuencias Previstas.....	358
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	359
Lecciones Aprendidas	360

Caso práctico 5. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Adaptación de un sistema de muelles al aumento del nivel del mar..... 363

Causa del Problema	363
Soluciones Propuestas.....	364
1. Sobreelevación estructural selectiva de muelles críticos	364
2. Reforma integral de drenaje, redes de servicios y pavimentos portuarios	365
3. Diseño de un nuevo muelle "resiliente" como piloto de adaptación a largo plazo	366
Consecuencias Previstas.....	367
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	368
Lecciones Aprendidas	369

Caso práctico 6. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Diagnóstico y corrección de un problema de agitación interior en dársena comercial 371

Causa del Problema	371
Soluciones Propuestas.....	372
1. Medidas operativas y de gestión del tráfico (corto plazo).....	372
2. Obra marítima de mejora de la bocana y filtros de oleaje de largo periodo	373
3. Reconfiguración parcial de la dársena y creación de elementos disipadores interiores	374
4. Mejoras en sistemas de amarre y ayudas al atraque.....	375
Consecuencias Previstas.....	375
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	377
Lecciones Aprendidas	378

Caso práctico 7. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Plan de mantenimiento integral de un sistema portuario de muelles..... 380

Causa del Problema	380
Soluciones Propuestas.....	381



1. Inventario de activos y sistema de gestión de la información (asset register)	381
2. Programa de inspección y diagnóstico estructural y de durabilidad	382
3. Modelo de evaluación de riesgo y priorización de actuaciones	383
4. Plan plurianual de mantenimiento y rehabilitación (10–15 años).....	384
5. Contrato marco de conservación y sistema de indicadores de desempeño.....	385
Consecuencias Previstas.....	385
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	386
Lecciones Aprendidas.....	388
Caso práctico 8. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Reordenación de dragados de mantenimiento y gestión ambiental de sedimentos en un canal de acceso portuario	390
Causa del Problema.....	390
Soluciones Propuestas.....	391
1. Programa de monitorización y modelización de la dinámica sedimentaria y de la calidad de sedimentos	391
2. Rediseño del esquema de dragado de mantenimiento y optimización operativa	392
3. Estrategia integral de gestión ambiental y aprovechamiento de sedimentos dragados	393
4. Gobernanza, permisos, participación y comunicación	395
Consecuencias Previstas.....	396
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	397
Lecciones Aprendidas.....	398
Caso práctico 9. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Recuperación de la operatividad portuaria tras un evento extremo	401
Causa del Problema.....	401
Soluciones Propuestas.....	402
1. Fase de emergencia y restablecimiento de la operatividad básica.....	402
2. Fase de diagnóstico detallado, auscultación y modelización post–evento	403
3. Programa de reconstrucción y refuerzo de diques y muelles.....	405
4. Plan de gestión del riesgo, adaptación y mejora de la resiliencia a largo plazo	406
Consecuencias Previstas.....	407
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	408
Lecciones Aprendidas.....	409
Caso práctico 10. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Proyecto portuario con condicionantes sociales y ambientales en una costa latinoamericana	412
Causa del Problema.....	412
Soluciones Propuestas.....	413
1. Rediseño funcional y geométrico del puerto	414
2. Reubicación y protección de usos tradicionales e integración puerto–comunidad	415
3. Programa de compensación, desarrollo local y “licencia social para operar”	416
4. Refuerzo del marco de gobernanza, participación y transparencia.....	417
Consecuencias Previstas.....	418
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	419
Lecciones Aprendidas.....	420
Caso práctico 11. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Programa integral de control de corrosión en muelles metálicos de un puerto comercial	423
Causa del Problema.....	423
Soluciones Propuestas.....	424
1. Diagnóstico detallado de corrosión y evaluación de vida útil remanente	425

2. Implantación o rehabilitación de sistemas de protección catódica y de recubrimientos.....	426
3. Refuerzos estructurales selectivos.....	427
4. Sistema de gestión, inspección periódica y control de durabilidad.....	428
Consecuencias Previstas.....	429
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	430
Lecciones Aprendidas.....	431
Caso práctico 12. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Recalce y mejora de cimentación de un muelle de gravedad con asientos diferenciales	434
Causa del Problema.....	434
Soluciones Propuestas.....	435
1. Recalce profundo selectivo de cajones mediante inyecciones y mejora del terreno bajo banquetta.....	436
2. Mejora del trasdós y control de drenaje.....	437
3. Rehabilitación de juntas, coronación y firmes de explanada.....	438
4. Implantación de un sistema de auscultación permanente.....	439
Consecuencias Previstas.....	440
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	441
Lecciones Aprendidas.....	442
Caso práctico 13. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Plan de adaptación climática y sobreelevación progresiva de diques y muelles en un puerto insular.....	445
Causa del Problema.....	445
Soluciones Propuestas.....	446
1. Revisión del clima marítimo futuro y definición de niveles de servicio y diseño.....	446
2. Estrategia de sobreelevación progresiva de diques y muelles.....	447
3. Medidas complementarias de gestión operativa y protección de instalaciones críticas.....	449
4. Integración de la adaptación en planificación, financiación y marco regulador.....	450
Consecuencias Previstas.....	450
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	451
Lecciones Aprendidas.....	453
Caso práctico 14. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Reestructuración contractual y control de costes en la ampliación internacional de un puerto de contenedores	455
Causa del Problema.....	455
Soluciones Propuestas.....	456
1. Renegociación del esquema contractual y clarificación del reparto de riesgos.....	457
2. Implantación de un sistema robusto de gestión de cambios y reclamaciones.....	458
3. Creación de una Oficina de Control de Costes y Plazo integrada.....	459
4. Recalibración del plan de obra según clima marítimo y ventanas operativas reales.....	459
5. Mejora de mediciones, certificación y gestión de contingencias.....	460
Consecuencias Previstas.....	461
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	462
Lecciones Aprendidas.....	463
Caso práctico 15. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Implantación de checklists y formularios técnicos corporativos en una ingeniería portuaria internacional.....	466
Causa del Problema.....	466
Soluciones Propuestas.....	467
1. Diagnóstico interno y extracción de lecciones de proyectos anteriores.....	468
2. Diseño de un marco corporativo de checklists y formularios técnicos.....	469

3. Digitalización e integración en una plataforma colaborativa	470
4. Programa de formación, acompañamiento y cambio cultural	471
5. Implementación piloto en proyectos en España y Latinoamérica, y mejora continua	472
Consecuencias Previstas.....	473
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	474
Lecciones Aprendidas.....	475
Caso práctico 16. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Normalización del diseño estructural mediante checklists de diques y muelles en una autoridad portuaria	478
Causa del Problema	478
Soluciones Propuestas.....	480
1. Checklists de diseño estructural de diques de abrigo.....	480
2. Checklists de diseño de muelles, pantalanos y duques de alba	481
3. Checklists geotécnicos, cimentaciones y durabilidad asociados al diseño estructural.....	483
4. Integración de los checklists en el ciclo de proyecto, revisión y aprobación	484
Consecuencias Previstas.....	485
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	485
Lecciones Aprendidas.....	487
Caso práctico 17. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Implantación de un sistema de inspección y mantenimiento basado en checklists y gemelo digital portuario	489
Causa del Problema	489
Soluciones Propuestas.....	491
1. Inventario detallado y clasificación de criticidad de los activos	491
2. Desarrollo de checklists de inspección para muelles, diques, defensas y canales	492
3. Implantación de una plataforma de gestión de activos y gemelo digital portuario	493
4. Programa plurianual de mantenimiento, refuerzo y dragados basado en riesgo	495
5. Plan de capacitación, gobernanza y mejora continua	496
Consecuencias Previstas.....	497
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	498
Lecciones Aprendidas.....	499
Caso práctico 18. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Recuperación de la operatividad tras un temporal extremo y refuerzo integral de diques y muelles.....	502
Causa del Problema	502
Soluciones Propuestas.....	504
1. Fase de emergencia: evaluación rápida de daños y medidas de seguridad	504
2. Recuperación gradual de la operatividad mediante reparaciones provisionales y gestión operativa.....	505
3. Proyecto de refuerzo y remodelación de diques y muelles con clima de diseño actualizado	506
4. Reforzamiento de la gestión de emergencias, protocolos y sistemas de información.....	508
Consecuencias Previstas.....	509
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	510
Lecciones Aprendidas.....	511
Caso práctico 19. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Diseño de un muelle multipropósito en un puerto de contenedores con condicionantes geotécnicos y de oleaje complejos	514
Causa del Problema	514
Soluciones Propuestas.....	515
1. Redefinición del diseño funcional del muelle multipropósito y de la configuración portuaria	516
2. Selección de una tipología estructural mixta: muelle sobre pilotes con berma de rellenos controlados.....	517

3. Programa de mejora geotécnica y cimentación profunda adaptado a la tipología elegida	518
4. Gestión de la agitación interior y criterios de operatividad del muelle	519
5. Estrategia constructiva por fases, manteniendo la operativa y optimizando costes.....	520
Consecuencias Previstas.....	521
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	522
Lecciones Aprendidas.....	523
Caso práctico 20. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Resolución de un problema de agitación interior que limita la operatividad de una terminal de contenedores.....	526
Causa del Problema	526
Soluciones Propuestas.....	527
1. Diagnóstico avanzado de la agitación interior y de los criterios de operatividad.....	528
2. Medidas estructurales de mitigación de la agitación	529
3. Medidas operativas y de equipamiento para ampliar ventanas operativas	530
4. Integración de la gestión de agitación en la planificación y el gemelo digital	531
Consecuencias Previstas.....	532
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	533
Lecciones Aprendidas.....	534
Caso práctico 21. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Gestión integrada de dragados de mantenimiento y protección ambiental en un puerto estuarino.....	537
Causa del Problema	537
Soluciones Propuestas.....	539
1. Diagnóstico morfodinámico y sedimentológico integral	539
2. Rediseño del programa de dragados hacia un modelo adaptativo y plurianual.....	540
3. Gestión ambiental avanzada del material dragado	541
4. Replanteamiento contractual y económico: coste de ciclo de vida.....	542
5. Gobernanza, participación y transparencia	543
Consecuencias Previstas.....	544
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	545
Lecciones Aprendidas.....	547
Caso práctico 22. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Gestión integral de un proyecto portuario latinoamericano con fuerte condicionante social y ambiental.....	550
Causa del Problema	550
Soluciones Propuestas.....	552
1. Revisión estratégica del emplazamiento y configuración del puerto	552
2. Rediseño técnico–funcional de diques y muelles con clima marítimo actualizado	553
3. Programa de gestión social: consulta, acuerdos pesqueros y compensaciones.....	554
4. Programa ambiental integral: manglares, calidad de agua y sedimentos	555
5. Reordenación contractual, de gobernanza y de relación con financiadores	556
Consecuencias Previstas.....	557
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	558
Lecciones Aprendidas.....	560
Caso práctico 23. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Adaptación de un sistema de muelles a aumento del nivel del mar y electrificación de atraques (OPS)	563
Causa del Problema	563
Soluciones Propuestas.....	564
1. Análisis de vulnerabilidad climático–operativa y priorización de muelles.....	564



2. Rediseño de coronaciones y recrecidos estructurales integrando OPS	566
3. Refuerzo estructural y mejora de durabilidad de muros y pilotes.....	567
4. Implantación de sistemas OPS y reorganización de galerías de servicios.....	568
5. Programa de monitorización, mantenimiento adaptativo y gestión del ciclo de vida	569
Consecuencias Previstas.....	570
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	571
Lecciones Aprendidas.....	573

Caso práctico 24. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Reequilibrio contractual y técnico en una obra marítima internacional con desviaciones de plazo y coste

de plazo y coste	576
Causa del Problema	576
Soluciones Propuestas.....	578
1. Reconfiguración de la gobernanza del proyecto y matriz de riesgos compartida	578
2. Revisión técnico-económica de diques y muelles (value engineering)	579
3. Rebaselización contractual: plazo, precios y riesgos	581
4. Sistema riguroso de control de costes, planificación y cambios.....	582
5. Refuerzo de mecanismos de prevención de disputas y resolución temprana.....	583
Consecuencias Previstas.....	584
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	585
Lecciones Aprendidas.....	587

Caso práctico 25. "PUERTOS Y COSTAS: OBRAS MARÍTIMAS, CLIMA MARÍTIMO Y DISEÑO DE MUELLES." Implantación de un gemelo digital para la gestión integral de diques, muelles y clima marítimo en un sistema portuario.....

de plazo y coste	590
Causa del Problema	590
Soluciones Propuestas.....	592
1. Creación de un inventario avanzado de activos y arquitectura de datos	592
2. Desarrollo del gemelo digital hidráulico-estructural.....	593
3. Implantación de sistemas de monitorización integrados	594
4. Integración del gemelo digital en explotación, mantenimiento e inversiones.....	595
5. Modelo de gobernanza, capacitación y cambio cultural	596
Consecuencias Previstas.....	597
Resultados de las Medidas Adoptadas.....	598
Lecciones Aprendidas.....	600

¿QUÉ APRENDERÁ?



- Comprender la función de los puertos en la cadena logística internacional y en la gestión del litoral.
- Identificar y clasificar las principales tipologías de obras marítimas, muelles, diques y estructuras de abrigo.
- Analizar el clima marítimo, el oleaje y la dinámica litoral para su aplicación directa al diseño de puertos y costas.
- Planificar nuevos puertos y ampliaciones mediante estudios de demanda, emplazamiento y configuración funcional.
- Diseñar estructuralmente diques de abrigo, muelles, pantalanés y duques de alba con criterios de seguridad y servicio.
- Definir soluciones de geotecnia marítima y cimentaciones adecuadas a suelos blandos, rellenos y condiciones sísmicas.
- Seleccionar materiales, evaluar la durabilidad en ambiente marino y gestionar la corrosión en estructuras portuarias.
- Elegir métodos constructivos, dragados y técnicas de relleno optimizando plazos, riesgos y control de calidad de la obra.
- Organizar la explotación, operatividad y el mantenimiento de muelles, diques y canales de acceso a lo largo de su vida útil.
- Integrar la gestión ambiental, el cambio climático y la resiliencia en el diseño, construcción y explotación portuaria.
- Aplicar buenas prácticas de gestión de proyectos, contratos y control de costes en obras marítimas en España y Latinoamérica.
- Utilizar checklists, formularios y casos prácticos reales para trasladar la teoría a la práctica diaria en proyectos de puertos y costas.

Introducción.



Ingeniería portuaria en tiempos de cambio: por qué necesitas una guía práctica de puertos y costas

El sector portuario vive una transformación silenciosa pero profunda. El aumento del tamaño de los buques, la presión por reducir costes logísticos, la competencia entre puertos, el endurecimiento de las exigencias ambientales y el impacto del cambio climático sobre diques y muelles han elevado el listón técnico y estratégico. En este contexto, tomar decisiones de diseño, inversión y mantenimiento sin una base sólida de conocimientos actualizados deja de ser una opción y se convierte en un riesgo para la competitividad del puerto y para la seguridad de las operaciones.

Esta guía práctica de puertos y costas nace precisamente para responder a esa necesidad. Reúne, en un solo volumen, los fundamentos clave de las obras marítimas, el clima marítimo, la dinámica litoral y el diseño de muelles; los estudios previos de demanda y de emplazamiento; el diseño estructural de diques y estructuras de atraque; la geotecnia y las cimentaciones en ambiente marino; los materiales y la corrosión; los métodos constructivos, dragados y rellenos; la explotación, operatividad y mantenimiento; la gestión ambiental, el cambio climático y la resiliencia; la gestión de proyectos, contratos y costes; así como un amplio bloque de herramientas aplicadas (checklists y formularios) y un conjunto extenso de casos prácticos basados en experiencias de España y Latinoamérica.

A lo largo de sus capítulos, la guía combina criterio técnico, enfoque práctico y una orientación clara a la toma de decisiones. No solo explica cómo diseñar un dique o un muelle, sino cómo ese diseño afecta a la operatividad de las terminales, al posicionamiento del puerto en la cadena logística, a su imagen frente a navieras y cargadores y a la percepción de reguladores y comunidad local. Del mismo modo, conecta el diseño y la construcción con la explotación, el mantenimiento y la gestión del ciclo de vida, ofreciendo una visión integrada que permite al profesional argumentar mejor sus propuestas, justificar inversiones y alinear los proyectos con la estrategia del puerto.



Para el profesional del sector, esta guía supone una ventaja clara. Le ayuda a estructurar sus estudios, ofertas y proyectos con una lógica reconocible y sólida; a utilizar checklists y formularios que reducen olvidos y reprocesos; a incorporar de forma sistemática el clima marítimo, la dinámica litoral, la geotecnia y la durabilidad en las decisiones de diseño; a anticipar impactos ambientales y requisitos de adaptación al cambio climático; y a dialogar de tú a tú con promotores, autoridades portuarias, navieras, terminalistas y financiadores. En términos tangibles, favorece proyectos mejor dimensionados, con menos desviaciones y menor riesgo de reclamaciones; en términos intangibles, refuerza la credibilidad técnica y estratégica de quien la utiliza.

Esta guía no es solo un compendio de teoría, sino una herramienta de trabajo pensada para el día a día. Sus casos prácticos permiten ver, paso a paso, cómo se aplican los criterios de diseño, los métodos de cálculo y las decisiones de explotación en situaciones reales, y cómo se gestionan dilemas habituales entre coste, plazo, operatividad, impacto ambiental y aceptación social. De este modo, el lector puede trasladar las experiencias recogidas a sus propios proyectos, mejorando la forma en que plantea alternativas, defiende soluciones y comunica el valor de sus propuestas dentro y fuera de la organización.

Si aspiras a que tus proyectos portuarios sean más competitivos, sostenibles y resilientes, invertir en conocimiento es una decisión estratégica. Esta guía práctica está concebida para acompañarte en ese camino: como manual de cabecera durante el diseño, como referencia para preparar reuniones y presentaciones, como base para formar equipos jóvenes y como apoyo para revisar y mejorar la forma en que planificas, diseñas, construyes, explotas y mantienes infraestructuras en puertos y costas.

En un entorno en el que se multiplican las exigencias técnicas, ambientales y económicas, mantenerse actualizado ya no es una opción, sino una condición para seguir siendo relevante. Dar el paso de trabajar con una metodología estructurada, apoyada en criterios claros, herramientas aplicables y experiencias contrastadas, marcará la diferencia entre limitarse a reaccionar y liderar la transformación de los puertos y costas en los que trabajas. Esta guía está diseñada para ayudarte precisamente a eso.