



# Índice general

## Sección 1

<b>1</b>	<b>Introducción, marco general y organización de la ROM 1.1</b>	<b>19</b>
<b>1.1</b>	<b>Marco de Trabajo</b>	<b>19</b>
1.1.1	Puertos de interés general, legislación vigente	20
1.1.2	Dominio público portuario, zona de servicio y articulación urbanística	21
1.1.3	El proceso de la planificación portuaria: Análisis y documentos	21
1.1.4	Proyectos de Inversión y de Construcción en Puertos	22
1.1.5	Objetivos del Programa ROM y MEIPOR	23
<b>1.2</b>	<b>Disposición en planta del área portuaria y diques de abrigo</b>	<b>26</b>
<b>1.3</b>	<b>Tareas e hitos a realizar en el proyecto de un dique de abrigo</b>	<b>28</b>
<b>1.4</b>	<b>Clasificación de los Proyectos de Construcción y grado de desarrollo</b>	<b>29</b>
1.4.1	Grados de desarrollo del proyecto del dique	30
1.4.2	Objetivos y actividades según el grado de desarrollo del proyecto	31
<b>1.5</b>	<b>Contenidos y Organización de la ROM 1.1 por Secciones</b>	<b>38</b>
1.5.1	Organización del documento ROM 1.1	39
<b>1.6</b>	<b>Relación con otras Recomendaciones, Instrucciones y Normas</b>	<b>42</b>

## Sección 2

<b>2</b>	<b>Bases específicas para el proyecto</b> .....	<b>47</b>
<b>2.1</b>	<b>Planteamiento general para la concepción de un dique de abrigo</b>	<b>47</b>
<b>2.2</b>	<b>Organización espacio-temporal del proyecto</b>	<b>49</b>
2.2.1	Organización temporal: fases de proyecto .....	49
2.2.2	Organización espacial: tramos .....	51
<b>2.3</b>	<b>Comportamiento del tramo por estados de obra</b>	<b>53</b>
2.3.1	Espacio muestral y de sucesos .....	53
2.3.2	Modos de fallo y de parada .....	54
2.3.3	Conjunto completo de modos .....	55
2.3.4	Espacio de sucesos y diagramas de componentes .....	55
<b>2.4</b>	<b>Caracterización de la evolución de la avería</b>	<b>57</b>
2.4.1	Modelo conceptual del progreso temporal del nivel de daño acumulado ..	59
2.4.2	Curvas de estado del daño medio acumulado .....	61
2.4.3	Trayectoria del daño acumulado en un ciclo de sollicitación .....	66
2.4.4	Dependencia temporal del modelo de probabilidad del daño acumulado .	68
2.4.5	Progreso temporal de otras variables acumulativas .....	72
2.4.6	Niveles de parada operativa y evolución temporal de la parada operativa .	74
<b>2.5</b>	<b>Probabilidad de fallo a un nivel de avería avanzado</b>	<b>76</b>
2.5.1	Concepciones para el diseño .....	76
2.5.2	Indicadores de la evolución temporal de la fiabilidad .....	78
<b>2.6</b>	<b>Análisis de la evolución espacial de la avería</b>	<b>82</b>
2.6.1	Árboles de desencadenamiento y propagación .....	82
2.6.2	Árbol para la toma de decisiones .....	83
<b>2.7</b>	<b>Identificación de factores de proyecto y componentes críticos</b>	<b>84</b>
<b>2.8</b>	<b>Variantes en la concepción y diseño de un dique de abrigo</b>	<b>86</b>

## Sección 3

<b>3</b>	<b>Procedimiento para el proyecto de diques de abrigo</b> .....	<b>93</b>
<b>3.1</b>	<b>Concepción de la obra y secuencia de diseño</b>	<b>93</b>
3.1.1	Herramientas para la concepción de la obra .....	94
3.1.2	Secuencia lógica de actividades .....	96

<b>3.2</b>	<b>Tipología y criterios para su selección</b>	<b>98</b>
3.2.1	Descripción de una tipología	99
3.2.2	Factores técnicos y ambientales para la selección de tipologías	100
3.2.3	Factores económicos para la selección de tipologías	102
<b>3.3</b>	<b>Comportamiento del dique y configuración de diagramas</b>	<b>102</b>
3.3.1	Diagramas de componentes frente a la seguridad	102
3.3.2	Diagramas de componentes frente a la operatividad	108
<b>3.4</b>	<b>Modos principales de fallo y de parada en un dique de abrigo</b>	<b>111</b>
3.4.1	Tramo con alineación recta	111
3.4.2	Tramos con alineaciones no rectas y transiciones	115
3.4.3	Modos principales provocados por otros agentes en el emplazamiento	117
3.4.4	Modos en las fases de construcción, conservación y reparación	118
3.4.5	Modos de parada relacionados con las actividades del área portuaria	118
<b>3.5</b>	<b>Reparto de la probabilidad conjunta de fallo y parada en el tramo</b>	<b>119</b>
3.5.1	Selección de modos principales y no principales	119
<b>3.6</b>	<b>Árboles de desencadenamiento y propagación del fallo o parada</b>	<b>120</b>
3.6.1	Diseño frente a la seguridad (condiciones de trabajo extremas)	121
3.6.2	Diseño frente a la operatividad (condiciones de trabajo operativas normales)	126
3.6.3	Diseño frente a condiciones de trabajo post-excepcionales	126
<b>3.7</b>	<b>Diseño a evolución de la avería y estrategias de reparación</b>	<b>127</b>
3.7.1	Elaboración de estrategias de reparación	127
3.7.2	Árbol para la toma de decisiones entre estrategias de reparación	129
<b>3.8</b>	<b>Organización de la obra, procesos y medios</b>	<b>131</b>
3.8.1	Estudios preliminares	132
3.8.2	Descripción de las subfases constructivas y procedimientos	132
3.8.3	Planificación de la estrategia de construcción	132

## Sección 4

<b>4</b>	<b>Verificación del dique de abrigo en una fase de proyecto</b>	<b>137</b>
<b>4.1</b>	<b>Objetivos y requisitos de proyecto de un dique en el Programa ROM</b>	<b>137</b>
4.1.1	Carácter del tramo en una fase de proyecto	138
<b>4.2</b>	<b>Procedimiento general para la verificación</b>	<b>143</b>
4.2.1	Evaluación del comportamiento de un modo	143

4.2.2	Ecuación de verificación: planteamiento y formulación . . . . .	145
4.2.3	Verificación integrada de los modos principales de un subsistema . . . . .	147
4.2.4	Métodos de verificación . . . . .	147
<b>4.3</b>	<b>Verificación de los requisitos a escala de fase de proyecto</b>	<b>151</b>
4.3.1	Escalas espacio-temporales para la verificación de los requisitos de proyecto	151
4.3.2	Recomendaciones para la verificación mediante métodos de Nivel I . . . . .	153
4.3.3	Recomendaciones para la verificación mediante métodos de Nivel II y III . . . . .	154
4.3.4	Verificación de condiciones de trabajo excepcionales, $CT_3$ . . . . .	157
<b>4.4</b>	<b>Métodos de verificación y grado de desarrollo del proyecto</b>	<b>166</b>
4.4.1	Métodos de verificación según el grado de desarrollo del proyecto . . . . .	167
4.4.2	Hipótesis de trabajo y simplificaciones según el grado de desarrollo . . . . .	167
<b>4.5</b>	<b>Análisis de sensibilidad según los factores de proyecto</b>	<b>174</b>

## Sección 5

<b>5</b>	<b>Evaluación de costes, optimización y nivel de riesgo . . . . .</b>	<b>177</b>
<b>5.1</b>	<b>Contexto y ámbito de la evaluación de costes en España</b>	<b>177</b>
<b>5.2</b>	<b>Objetivos de la evaluación de costes y sistema dual de optimización</b>	<b>178</b>
5.2.1	Costes de capitalización de un dique de abrigo . . . . .	179
<b>5.3</b>	<b>Costes en el Proyecto de Construcción de un dique de abrigo</b>	<b>180</b>
5.3.1	Organización del cálculo de los costes totales . . . . .	180
5.3.2	Procedimiento para la evaluación de costes . . . . .	181
5.3.3	Cálculo del descriptor de los costes totales . . . . .	184
<b>5.4</b>	<b>Optimización y análisis de sensibilidad</b>	<b>189</b>
5.4.1	Elementos que definen un método de optimización técnico-económica . . . . .	189
5.4.2	Método analítico de optimización . . . . .	191
5.4.3	Análisis de sensibilidad del diseño del dique . . . . .	192
5.4.4	Secuencia para la optimización y análisis de sensibilidad . . . . .	193
5.4.5	Modelo de Optimización recomendado del coste acumulado . . . . .	194
<b>5.5</b>	<b>Análisis de la rentabilidad y nivel de riesgo del Proyecto de Inversión</b>	<b>195</b>
5.5.1	La conectividad ROM 1.1-MEIPOR . . . . .	195
5.5.2	Adecuación y optimización del Proyecto de Inversión . . . . .	196
5.5.3	Sistema dual de Optimización y nivel aceptable de riesgo . . . . .	197
5.5.4	Resumen del proyecto de inversión y sus indicadores . . . . .	197

5.6	Condiciones de trabajo excepcionales y análisis de accidentalidad	206
-----	---	-----

## Anejos

<b>Símbolos y definiciones</b>	211
<b>Símbolos</b>	211
<b>Acrónimos</b>	216
<b>Definiciones</b>	217
<b>Comentarios y ejemplos</b>	229
<b>Bibliografía</b>	231
<b>Indicadores Económico-Financieros MEIPOR</b>	235
<b>Redacción de la ROM 1.1</b>	241





## Índice de figuras

### Sección 1

1.1	Condiciones para la toma de decisiones en infraestructura portuaria . . . .	20
1.2	Esquema de figuras jurídicas para la administración del suelo portuario . . . . .	21
1.3	Esquema de instrumentos de planificación y requisitos de evaluación ambiental	22
1.4	Esquema de redacción de proyectos de infraestructuras básicas . . . . .	23
1.5	Integración del dique de abrigo en el área portuaria . . . . .	26
1.6	Esquema de secciones de diques de abrigo y parámetros representativos de las tipologías vertical, mixta o compuesta y en talud. . . . .	27
1.7	Organización del proyecto de un dique de abrigo . . . . .	29
1.8	Clasificación de proyectos . . . . .	30
1.9	Grados de desarrollo del proyecto ROM 1.1 . . . . .	31
1.10	Cuadro de contenidos de la ROM 1.1 . . . . .	39

### Sección 2

2.1	Esquema de trabajo para diseñar, verificar y optimizar un dique de abrigo considerando la evolución espacio-temporal de los modos . . . . .	48
2.2	Jerarquía de escalas temporales del proyecto . . . . .	51

2.3	Distribución en cascada del comportamiento de un tramo de dique . . . . .	53
2.4	Espacio de sucesos para un conjunto de tres componentes . . . . .	56
2.5	Tipologías de diagramas de componentes . . . . .	57
2.6	Esquema para evaluar la acumulación de la avería y sus consecuencias . . .	58
2.7	Curvas de estado del daño medio acumulado . . . . .	62
2.8	Curvas de iso-duración en función del agente predominante y el daño . . . .	63
2.9	Curvas de iso-valor del daño medio en función del agente predominante y la duración . . . . .	64
2.10	Curvas de iso-valor característico del agente característico en función de la duración y el daño acumulado . . . . .	65
2.11	Ejemplo de acumulación del daño en un ciclo de sollicitación . . . . .	67
2.12	Curvas de iso-valor del modelo de ajuste . . . . .	67
2.13	Ensayos de evolución del daño acumulado medido y ajuste . . . . .	68
2.14	Secuencia de estados del ciclo característico analizado . . . . .	69
2.15	Evolución temporal de la probabilidad del daño acumulado considerando para dos pdf del daño inicial, representativas de una estrategia de reparación prudente frente a una estrategia de reparación más atrevida . . . . .	70
2.16	Evolución temporal de la probabilidad del daño acumulado considerando la variabilidad de los agentes . . . . .	72
2.17	Ensayos de acumulación de volumen rebasado . . . . .	74
2.18	Funciones de densidad de probabilidad (pdf) del daño acumulado en la vida útil para diseños con y sin estrategia de reparación . . . . .	78
2.19	Ejemplo de árbol de desencadenamiento y propagación . . . . .	83
2.20	Algoritmo de clasificación del coste total por reparación, en función de las estrategias de inicio de reparación y de su duración . . . . .	86
2.21	Importancia relativa de los predictores que definen las diferentes estrategias de reparación . . . . .	86
2.22	Interconexión entre variantes, métodos de verificación y clases de proyectos.	89

## Sección 3

3.1	Secuencia general para la concepción y diseño de un dique de abrigo . . . .	94
3.2	Cuadro de herramientas para la concepción de la obra . . . . .	95
3.3	Secuencia lógica para la concepción de la obra y su dimensionamiento . . .	97
3.4	Tramos en el dique y en el contradique del puerto de Motril . . . . .	98
3.5	Subsistemas de un tramo de dique en talud . . . . .	99
3.6	Tipologías de dique habituales . . . . .	100
3.7	Izquierda, esquema de tramos del dique. Derecha, esquema de subsistemas de un tramo . . . . .	106



3.8	Diagrama de componentes del dique . . . . .	106
3.9	Diagrama de componentes de cada tramo . . . . .	107
3.10	“Árbol de fallo” (PIANC, 2016) y diagrama de componentes equivalente para excesiva transmisión del oleaje en un dique en talud con espaldón (ROM 1.1)	110
3.11	“Árbol de fallo” (PIANC, 2016) y diagrama de componentes equivalente para excesivo rebase en un dique vertical, (ROM 1.1) . . . . .	110
3.12	Principales elementos y modos agrupados por subsistemas en un dique en talud	111
3.13	Árboles de desencadenamiento y propagación del fallo en los tramos de transición y morro . . . . .	123
3.14	Árbol de desencadenamiento y propagación del fallo entre subsistemas de los tramos arranque, alineación secundaria y tramo de transición, como consecuencia de deformaciones y movimientos en la cimentación y terreno . . . . .	124
3.15	Árbol de desencadenamiento y propagación del fallo entre subsistemas de los tramos arranque, alineación secundaria y tramo de transición, como consecuencia de erosión y desplazamiento de las piezas del perímetro exterior . . . . .	124
3.16	Árbol de desencadenamiento y propagación del fallo entre subsistemas de la alineación principal, como consecuencia de deformaciones y movimientos en la cimentación y terreno . . . . .	125
3.17	Árbol de desencadenamiento y propagación del fallo entre subsistemas de la alineación principal, como consecuencia de erosión y desplazamiento de las piezas del perímetro exterior . . . . .	126
3.18	Ejemplo de árbol de decisiones . . . . .	130
3.19	Ejemplo de estrategias de decisión . . . . .	131

## Sección 4

4.1	Relaciones entre escalas para la verificación de un dique de abrigo . . . . .	152
4.2	Esquema de la estructura . . . . .	159
4.3	Esquema de las variables hidrodinámicas de estudio . . . . .	160
4.4	Series temporales de superficie libre y fuerza en las regiones definidas y de fuerza total sobre la estructura . . . . .	161
4.5	Funciones de distribución de superficie libre, alturas de ola y periodos en las regiones definidas . . . . .	161
4.6	Función de densidad y distribución de la fuerza total sobre la estructura . . .	162
4.7	Pasos ascendentes por cero en la serie temporal de la fuerza total y picos positivos (hacia tierra) y negativos (hacia mar) en cada uno de ellos . . . . .	163
4.8	Función de distribución de los picos de fuerza hacia tierra y hacia el mar . .	164
4.9	Funciones de distribución de los valores máximos de altura de ola y de las fuerzas máximas hacia mar y hacia tierra en cada simulación . . . . .	165

4.10	Función de distribución del valor mínimo del margen de seguridad en cada simulación . . . . .	166
------	---	-----

## Sección 5

5.1	Secuencia de cálculo del descriptor del coste total de construcción y de desmantelamiento . . . . .	182
5.2	Secuencia de cálculo del descriptor del coste total de reparación . . . . .	183
5.3	Secuencia de cálculo del descriptor del coste total de explotación . . . . .	184
5.4	Caracterización de los agentes climáticos en el emplazamiento y tipología del dique en talud . . . . .	185
5.5	Esquema con los datos de entrada necesarios para calcular los costes de reparación mediante simulación numérica de Monte Carlo . . . . .	186
5.6	Ejemplo de árbol de desencadenamiento y propagación del fallo. . . . .	187
5.7	Parámetros de ajuste de la curva potencia de acumulación de daño para el modo de fallo erosión de la berma de pie. . . . .	187
5.8	Boxplots con los costes de reparación acumulados en cinco años en euros para el modo de fallo erosión de la berma de pie. . . . .	188
5.9	Parámetros de ajuste de la curva potencial de acumulación de costes medios de reparación para el modo de fallo erosión de la berma de pie. . . . .	189
5.10	Secuencia de tareas del proceso de optimización del diseño y dimensionamiento de un dique de abrigo . . . . .	194
5.11	Esquema de trabajo seguido en el ejemplo. . . . .	199
5.12	Croquis de atraques y dimensiones. . . . .	199
5.13	Niveles de servicio frente a productividad anual media. . . . .	200
5.14	Variación de los costes totales frente al nivel de avería de diseño. . . . .	201
5.15	Evolución temporal de las probabilidades de cumplimiento en función de la toma de decisiones. . . . .	202
5.16	Función de densidad de los costes de reparación para diseño a nivel de Avería Iribarren. . . . .	203
5.17	Función de densidad del TIRF de la Autoridad Portuaria para los tres casos considerados. . . . .	204
5.18	Función de densidad del TIRF del Operador para los tres casos considerados. . . . .	204
5.19	Función de densidad del TIRE para los tres casos considerados. . . . .	205
5.20	Resultados del análisis de sensibilidad para situaciones optimista y pesimista. . . . .	206
5.21	Organigrama de interconexión de las tres herramientas de trabajo. . . . .	208



# Índice de tablas

## Sección 1

1.1	Cuadro resumen de los Estudios Previos . . . . .	32
1.2	Cuadro resumen del Estudio de Alternativas y de Soluciones . . . . .	34
1.3	Cuadro resumen del Anteproyecto . . . . .	36
1.4	Valores orientativos de técnicos, cualificación y número estimado de horas de dedicación al proyecto (España) . . . . .	43

## Sección 4

4.1	Vida útil mínima en función del IRE . . . . .	139
4.2	Máxima probabilidad conjunta en la fase de servicio . . . . .	139
4.3	Operatividad mínima en la fase de servicio . . . . .	142
4.4	Nº medio de paradas anuales en función del ISAO . . . . .	142
4.5	Duración máxima probable de una parada en función del IREO y del ISAO . . . . .	142
4.6	Método de resolución recomendado según el carácter general del tramo . . . . .	166

