ANEJO Nº4
Bases de diseño

ESTADO DE LOS TRABAJOS

Versión	Fecha	Modificaciones
A	03/04/2014	
B	14/05/2014	Añadidos resultados de Estudio Geotécnico
C	31/07/2014	Versión Proyecto Básico

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1

2 CRITERIO GENERAL DE LAS OBRAS: VIDA ÚTIL Y PERÍODO DE RETORNO 1

2.1 DEFINICIÓN DE LOS TRAMOS DE OBRA 1

2.2 PASEO MARÍTIMO Y ADECUACIÓN DE LA PLAYA 2

2.2.1 Carácter general 2

2.2.2 Carácter operativo 2

2.3 PASARELAS 3

2.4 PERÍODO DE RETORNO 5

2.4.1 Paseo marítimo y adecuación de la playa 5

2.4.2 Pasarelas 5

3 FACTORES DE PROYECTO 6

3.1 PARÁMETROS DE PROYECTO 6

3.1.1 Sistemas de referencia 6

3.1.2 Geometría y parámetros del terreno 6

3.1.2.1 Superficie del terreno 6

3.1.2.2 Terreno de cimentación 7

3.1.2.3 Parámetros de los materiales de construcción 8

3.1.3 Parámetros del medio físico 8

3.2 AGENTES Y ACCIONES 8

3.2.1 Gravitatorio 8

3.2.2 Del medio físico 9

3.2.2.1 Climáticos 9

3.2.2.1.1 Oleaje 9

3.2.2.1.2 Viento 11

3.2.2.1.3 Marea 12

3.2.2.1.4 Cota de inundación 13

3.2.2.2 Hidrológicos e hidráulicos 13

3.2.2.3 Agentes térmicos 14
3.2.2.4 Sísmicos 14
3.2.3 Uso y explotación (pasarelas) 15
3.2.3.1 Sobrecarga de uso 15
3.2.3.2 Acciones en las barandillas 16

4 DIMENSIONAMIENTO DE PASARELAS 16

4.1 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS (E.L.U.) 16
4.2 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (E.L.S.) 18
4.2.1 Pasarela de madera 18
4.2.2 Pasarela metálica y mixta 20
4.3 CÁLCULO DE LAS CIMENTACIONES, ESTRIBOS Y ALETAS 20
4.3.1 Acciones a considerar 21

5 NORMAS Y RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN 22

1 INTRODUCCIÓN

En el presente Anejo se recogen las características y condicionantes considerados para el diseño y dimensionamiento de las obras para la definición del *"Proyecto de Sendero litoral y recuperación ambiental del borde costero del Playazo, en el término municipal de Nerja (Málaga)"*.

En primer lugar, se establecen los criterios generales de proyecto, en los que se define la vida útil de la obra y los períodos de retorno a considerar. Seguidamente, se fundamentan las condiciones derivadas del medio físico local, entre ellas la topografía y batimetría, o la estabilidad del terreno, y las condiciones ambientales (viento, mareas, oleaje, etc.). Posteriormente, se analiza la validez de las formulaciones, modelos y software a emplear para el estudio del entorno litoral y el dimensionamiento de los elementos que componen las obras. Por último, se enumeran las principales normas y recomendaciones técnicas que se han utilizado para la redacción del proyecto.

2 CRITERIO GENERAL DE LAS OBRAS: VIDA ÚTIL Y PERÍODO DE RETORNO

El objetivo del proyecto es conseguir una obra, que en su conjunto satisfaga los requisitos de seguridad, servicio, y uso y explotación en cada una de las fases de proyecto.

2.1 DEFINICIÓN DE LOS TRAMOS DE OBRA

Atendiendo a la función que desarrollan durante la fase de servicio, las distintas partes que componen el proyecto se han clasificado del siguiente modo:

- Paseo marítimo entre las desembocaduras de los ríos Chíllar y Seco, además de senda litoral occidental entre la desembocadura del río Seco y los acantilados de Punta Lara, con adecuación de la zona de playa desde la línea de DPMT hasta el inicio del paseo.
- Pasarelas sobre el río Chíllar y sobre el río Seco.

2.2 PASEO MARÍTIMO Y ADECUACIÓN DE LA PLAYA

2.2.1 Carácter general

Se determina de acuerdo con el procedimiento indicado en la *R.O.M. Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias*[1], a partir de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA). Este carácter se define para los modos de fallo que dan lugar a la destrucción o pérdida de operatividad total en todas las secciones homogéneas o tramos de obra.

Según ROM 1.0-09, en las Fig. 2.33 y Fig. 2.34, se obtienen los siguientes valores de: IRE y vida útil; e ISA, máxima probabilidad de fallo frente a estados límites de servicio y máxima probabilidad de fallo frente a estados límites últimos, respectivamente, para el tramo de obra de paseo marítimo y adecuación de la playa (Tabla 1).

TRAMO DE OBRAS	IRE	Vida útil	ISA	$P_{f,ELU}$	$P_{f,ELS}$
Paseo marítimo y adecuación de playa	r1 (Bajo)	15 años	s1 (No significativo)	0.2	0.2

Tabla 1. Carácter general del tramo de obra.

2.2.2 Carácter operativo

Las repercusiones económicas y los impactos social y ambiental que se producen cuando una obra marítima deja de operar o reduce su nivel de operatividad se valoran por medio del carácter operativo, el cual, se determina a partir de los índices de repercusión económica operativa (IREO) y de repercusión social y ambiental operativo (ISAO).

Según ROM 1.0-09, en las Fig. 2.35 a Fig. 2.37, para el caso del tramo costero objeto de estudio, los coeficientes adoptan los valores de la Tabla 2.

TRAMO DE OBRAS	IREO	ISAO	$R_{f,ELO}$	Número de paradas/año	Duración parada (h)
Paseo marítimo y adecuación de playa	r01 (Bajo)	No significativo	0.85	10	24

Tabla 2. Carácter operativo del tramo de obra.

[1] Recomendaciones para Obras Marítimas (R.O.M.). Puertos del Estado, Ministerio de Fomento.

2.3 PASARELAS

En este apartado se indican los criterios básicos de las obras que deben incluirse y justificarse dentro del capítulo de pasarelas destinadas al paso de peatones o ciclistas, como parte integrante del proyecto constructivo, de acuerdo al documento *Caminos Naturales* del MAGRAMA. Los criterios a tener en cuenta para el diseño son:

Estéticos

Las pasarelas deben de integrarse en el entorno que las rodea y, en lo posible, poseerán características agradables al usuario.

Durabilidad

La vida útil de las pasarelas se establece en 50 años. El proyecto debe considerar que ésta ha de alcanzarse minimizando los costes de conservación con una adecuada elección del tipo estructural, materiales, diseño, protección y plan de mantenimiento.

Constructivos

Gran parte de los elementos utilizados en la construcción de pasarelas metálicas y de madera son, o pueden ser, prefabricados. El empleo de este tipo de elementos implica una disminución de los costes asociados a estas estructuras, disminuyendo también el plazo de ejecución de las mismas.

Se tendrá en cuenta cualquier otra circunstancia que pueda afectar a la ejecución de la estructura y, por tanto, limitar la solución elegida.

Funcionales

El tipo de tránsito a soportar es de peatones y ciclistas, así como de vehículos ocasionales (mantenimiento, emergencias, etc.).

Los criterios de accesibilidad cumplen con las especificaciones del Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, así como la interpretación y aplicación del Documento Básico DB SUA (Seguridad de Utilización y Accesibilidad) del Código Técnico de la Edificación, en cuanto a pendientes, tramos, pasamanos y protecciones.

La altura de las barandillas será 1,25 m, previsto para uso ciclista.

Es recomendable que el pavimento de la pasarela tenga una rugosidad tal que el coeficiente de rozamiento longitudinal tenga al menos, un valor f = 0,32, de obligado cumplimiento en el caso de tráfico ciclista o vehículo de mantenimiento.

Como referencia, se incluye en la tabla siguiente los valores mínimos recomendados para las anchuras y alturas libres de las pasarelas:

Categoría	Empleo	Anchura libre Mínima (m)	Mínima Altura libre sobre la pasarela (m)	Acceso vehículo de emergencia (m)
Ancha	Peatones y ciclistas (alta densidad de tráfico)	4,50	3,00	Si
Normal	Peatones y ciclistas (densidad intermedia de tráfico)	3,50	3,00	Si
Estrecha	Peatones y ciclistas (baja densidad de tráfico)	2,50	2,20	No

Tabla 6.7.1. Valores de anchuras y alturas libres para los diferentes posibles usos.
Fuente: Tomado de "Puentes de madera", de Kurt Schwaner y otros. 2004.

Se preserva un gálibo mínimo de acuerdo a los criterios establecidos por el organismo administrativo competente, en este caso, la Demarcación de Costas de Málaga y el Ayuntamiento de Nerja.

Económicos

En relación a los criterios económicos, no solo se considera el coste de la estructura, sino que también se tiene en cuenta el mantenimiento necesario y su frecuencia, así como la posibilidad real de su realización, resultando normalmente más rentable un mayor coste de ejecución y menos mantenimiento, que lo contrario.

Medioambientales

Durante la fase de diseño de la infraestructura se prevee la minimización del impacto (final y de ejecución) y la naturalidad de los elementos constituyentes de la estructura, utilizando materiales de la zona siempre que sea técnica y económicamente posible.

2.4 PERÍODO DE RETORNO

2.4.1 Paseo marítimo y adecuación de la playa

El periodo de retorno para la caracterización del oleaje extremal en aguas profundas, se determina en función de la vida útil y de la probabilidad de fallo para la que se diseñan las actuaciones, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{1}{1-\left(1-P_f\right)^{1/V_m}}$$

Donde:

T_R: Período de retorno (años)
V_m: Vida útil (años)
P_f: Probabilidad de fallo frente a los modos de fallo

De acuerdo con los valores determinados en los puntos anteriores, se obtiene el período de retorno para el tramo de proyecto (Tabla 3).

TRAMO DE OBRAS	Periodo de Retorno (T_R)
Paseo marítimo y adecuación de playa	68

Tabla 3. Periodos de retorno para cada tramo de obra.

2.4.2 Pasarelas

De acuerdo a la norma de aplicación al cálculo de pasarelas (*IAP-11, Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera*), en la que se contempla las acciones para pasarelas peatonales, ciclistas, etc., el periodo de retorno asignado es de 100 años.

3 FACTORES DE PROYECTO

3.1 PARÁMETROS DE PROYECTO

3.1.1 Sistemas de referencia

El sistema de referencia planimétrico (x,y) bajo el que se posicionan todos los elementos de Proyecto es el ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*)[2], proyección UTM, huso 30.

Las coordenadas altimétricas (z) están referidas al nivel medio del mar en Alicante (NMMA), cuya relación con los demás sistemas de referencia se especifica a continuación:

$$NMMA = LAT - 0.347m \quad (1)$$

$$NMMA = mareógrafo - 0.415m \quad (2)$$

$$NMMA = puerto + 0.414m \quad (3)$$

Donde:

LAT[3]: es la máxima bajamar o "Cero Hidrográfico"

Mareógrafo: hace referencia al "Cero del mareógrafo Málaga" de la red de Puertos del Estado.

Puerto: se corresponde al "Cero del Puerto de Málaga"

3.1.2 Geometría y parámetros del terreno

3.1.2.1 Superficie del terreno

La información topográfica y batimétrica que ha servido de base para la elaboración del Proyecto se encuentra recogida en el *Anejo 2.- Estudios previos*, apartado de *Información de partida*, consistente en la topo-batimetría llevada a cabo por Tecnoambiente entre 2004 y 2005 como parte del "*Estudio ecocartográfico del litoral de la provincia de Málaga*"

---

[2] Real Decreto 1071/2007 de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España.

[3] *Lowest Astronomical Tide*

(ECOMÁLAGA), facilitada por la Demarcación de Costas de Andalucía Mediterráneo; y el levantamiento topográfico de detalle del área de actuación realizado con objeto del presente Proyecto (2014).

3.1.2.2 Terreno de cimentación

La cimentación se realiza sobre el denominado UG.2 caracterizado como arena y grava y con profundidad de hasta 20m desde 0,90 m por debajo de la superficie del terreno.

Nivel	*Material*	*Desde (m.)*	*Hasta (m.)*
UG.1	Rellenos de naturaleza antrópica	0,00	0,90
UG.2	Suelos de naturaleza granular formados por arenas y gravas de tonos grises	0,90	20,00

Tabla 4. Estratigrafía

Los parámetros de resistencia y deformación del terreno son:

Tipología de cimentación	-	Zapatas o Zapatas corridas	
Profundidad de empotramiento de la cimentación en el material portante	m	Canto de la zapata	
Densidad del terreno bajo el plano de cimentación	kN/m^3	19,5	
Situación de dimensionado	-	Persistente a largo plazo	
Ángulo de rozamiento efectivo	º	30,00	
Cohesión efectiva	kPa	0,00	
Cohesión sin drenaje	kPa	-	
Modelo constitutivo para estimación de asientos	-	Elástico – largo plazo	
Asiento admisible	cm	3,50 cm	
Compresibilidad del terreno bajo la cimentación	Potencia	E'	ν
	m	MPa	(coef. poisson)
UG.2	6,0	14,8	0,3

3.1.2.3 Parámetros de los materiales de construcción

A definir a partir de la elección del tipo de pasarela.

La siguiente tabla recoge los pesos más habituales utilizados en la construcción de pasarelas.

Material	Densidad aparente kN/m³
Acero	78,50
Madera de coníferas	3,00 a 5,00
Madera de frondosas	5,30 a 9,00
Hormigón armado y pretensado	25,00
Hormigón ligero	10,00 a 20,00

3.1.3 Parámetros del medio físico

Se adoptan los siguientes valores de las propiedades del aire y del agua correspondiente a valores medios:

- Densidad del aire, ρ_a=1,23 kg/m^3
- Densidad del agua, ρ_w=1030 kg/m^3
- Viscosidad cinemática del agua, ν=1,1·10^{-6} m^2/s

3.2 AGENTES Y ACCIONES

3.2.1 Gravitatorio

Las acciones gravitatorias tienen como agente la aceleración de la gravedad g= 9.81 m/s^2.

Para condiciones de trabajo de no-sismo, la acción gravitatoria que representa este agente queda representada por los pesos específicos que se han mostrado para cada material en el apartado anterior.

Para los condiciones de trabajo en situación excepcional por sismo (CT3, 3,2), de acuerdo con lo indicado en el *apartado 3.10.5.2.3.1* de la *R.O.M. 0.5-05*, los pesos específicos anteriores se incrementan por el factor f para la representación de la acción gravitatoria siendo:

$$f = 1 + \frac{a_v}{g}$$

Siendo a_v la aceleración sísmica vertical de cálculo y g la aceleración de la gravedad.

3.2.2 Del medio físico

Los agentes del medio físico a considerar se clasifican en:

- CLIMÁTICOS
  - Atmosféricos básicos y climáticos marinos:
    - Oleaje
    - Viento
    - Marea
  - Precipitaciones y caudales fluviales
- TÉRMICOS
- SÍSMICOS

3.2.2.1 Climáticos

3.2.2.1.1 Oleaje

La metodología de caracterización del oleaje en profundidades indefinidas que puede afectar al frente costero objeto del Proyecto parte del análisis de las fuentes de datos de oleaje disponibles en sus inmediaciones, procedentes del Banco de datos Oceanográficos del Ente Público Puertos del Estado.

Se identifican así los siguientes registros:

- Instrumentales:
  - Boya de Málaga (1514): boya tipo Triaxys, fondeada en las coordenadas (4.42º W; 36.69º N), a 22 m de profundidad. El registro de datos, cuyo inicio data de noviembre de 1985, tiene una cadencia horaria y es de tipo direccional sólo desde abril de 2010, cuando se cambió el tipo de sensor.
- Numéricos:
  - Nodos WANA 2030078, 2031079, 2033079, 2034079, 2036079, 2038079, 2039079 y 2040079: formados por series temporales desde 1996 a la actualidad, con

cadencia de 3 horas, de parámetros de viento y oleaje en aguas profundas procedentes de modelado numérico, datos de diagnóstico o análisis a partir de campos de viento y presión consistentes con las observaciones realizadas.

De las series analizadas del banco de datos de Puertos del Estado, la ubicación de la boya de Málaga en aguas intermedias, implica que los valores registrados por ésta estén condicionados por la morfología local de los fondos frente al Puerto, de ahí que su registro no se considera representativo de las condiciones de oleaje reinantes en el área de actuación, pues la distancia existente desde Málaga hasta el frente litoral de El Playazo objeto de Proyecto es de unos 50 km.

Es así que los datos numéricos de la red WANA constituyen la fuente más idónea para la caracterización del clima marítimo de la zona de estudio y del régimen de vientos, y, dada su posición, de entre ellos, la serie correspondiente al nodo 2038079 con 17 años de datos de oleaje y viento direccionales (Figura 1, en verde).

Figura 1. Fuentes de datos barajadas para la caracterización del clima marítimo del litoral nerjeño. Se resalta en verde y negrita el nodo WANA escogido a tal fin.

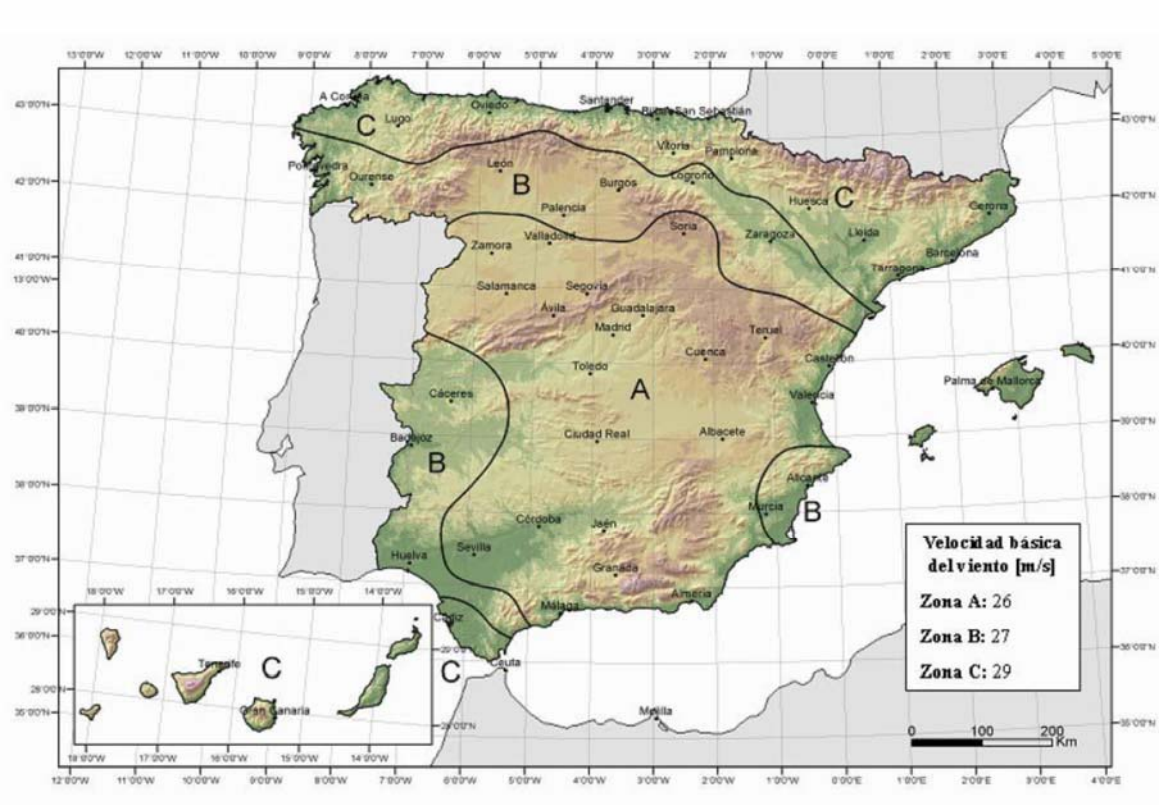
A partir de estos datos se analiza la distribución sectorial de los oleajes y se obtienen los regímenes medio y extremal, escalares y direccionales, de las variables altura de ola significante (H_s) y Periodo de pico (T_p).

3.2.2.1.2 Viento

La caracterización del régimen de vientos en la zona se efectúa a partir de los datos de velocidad y dirección del viento desde 1996 hasta 2013 procedentes de la serie del Nodo WANA 2038079 descrito en el punto anterior.

Los regímenes medio y extremal de este agente se obtienen mediante el ajuste de los valores de la serie a sus funciones de distribución de mejor ajuste, funciones Normal y Gumbel de Máximos, respectivamente.

Para el caso de cálculo de la pasarela, en función del lugar donde se ubica la misma, se determina la velocidad básica fundamental del viento de referencia y obtener el empuje sobre la estructura (ver figura siguiente: Mapa de Isotacas para la obtención de la Velocidad Básica fundamental del Viento, Vb,0. Fuente: IAP-11, 2011.)



<u>Acciones de viento</u>

En relación a las acciones del viento, se considera el contenido de la Norma IAP-11 al respecto.

El efecto del viento se asimila a una carga estática.

Por tratarse de pasarelas con vanos menores de 40 m de luz, y de menos de 20 m en altura de pilas intermedias, se aplica el cálculo simplificado del empuje de viento en tablero y pilas, considerando únicamente los efectos del viento transversal.

Este método simplificado calcula dichos empujes en función de la altura de las pilas, si existen, el tipo de entorno y la velocidad básica fundamental del viento del lugar.

Los análisis dinámicos y vibratorios incluyen la determinación de los modos de vibración, frecuencia natural, riesgo de resonancia, deformaciones y esfuerzos periódicos. Los valores obtenidos estarán en consonancia con las normas aplicables.

3.2.2.1.3 Marea

Los niveles de marea de la zona litoral en estudio se establecen de forma teórica con base a los datos incluidos en el *ATLAS de Inundación en el Litoral Peninsular Español*[4], Área V, Subzona "b", caracterizada a partir del registro de 1992 a 1996 del mareógrafo de Málaga. Dada la mayor extensión del registro considerado, esta información se complementa con la contenida en los informes emitidos para este mareógrafo por Puertos del Estado, ente público al que pertenece.

La ubicación de este mareógrafo queda reflejada en la Figura 2, cuyas características se describen a continuación.

- Mareógrafo de Málaga (3542): sensor tipo ultrasonidos modelo "Sonar R&D" situado en la Dársena de Embarcaciones Menores del Puerto de Málaga, en la coordenada 4.42° W, 36.71° N, con datos del nivel del mar con cadencia de 5 minutos desde julio de 1992 hasta abril de 2010. El cero del mareógrafo está situado a 1.244 m por debajo del clavo geodésico SSK-236 (ubicado frente a la puerta de la caseta).

[4] Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) de la Universidad de Cantabria, en colaboración con la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente.

Figura 2. Localización en planta del mareógrafo 3542 del Puerto de Málaga.

3.2.2.1.4 Cota de inundación

Determinada a partir de los resultados del Estudio de inundación costera (Anejo nº 08). El modelo utilizado para el cálculo de la cota de inundación es el modelo IOLE, desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental, "IH CANTABRIA".

3.2.2.2 Hidrológicos e hidráulicos

Determinados a partir de los resultados del Estudio hidrológico e hidráulico (Anejo nº 05).

En él se recogerán todos los condicionantes que puedan afectar, principalmente, a la superestructura de la pasarela y, especialmente, a su cimentación.

Para ello, se estimarán las precipitaciones máximas y caudales previsibles para un el periodo de retorno de cálculo (T=100 años).

En el informe se describirá la cuenca drenante, se incluirán los hidrogramas, en su caso, y los coeficientes de escorrentía aplicables.

Una vez completado el estudio hidrológico se procederá a realizar el consiguiente análisis hidráulico.

Se calcularán los parámetros del flujo a través de los apoyos de la pasarela, es decir, se deducirá la altura de la lámina de agua, velocidad, régimen o número de Froude. Para lo que se realizará el análisis con HEC-RAS.

Se especificará cuál es el resguardo mínimo entre la superestructura y la cota de la lámina de agua calculada para el periodo de retorno anteriormente mencionado.

3.2.2.3 Agentes térmicos

El efecto de la acción térmica sobre los elementos de la pasarela se evaluará según el artículo 4.3 de la IAP-11.

En la pasarela de madera no se considerará el efecto de la temperatura sobre la estructura.

3.2.2.4 Sísmicos

Al igual que el Eurocódigo 8, la Norma NCSP-07 no incluye dentro de su ámbito de aplicación los puentes y las pasarelas de madera; estas normas están pensadas para puentes de acero o de hormigón. No obstante, se considera en el estudio de acciones sísmicas en pasarelas de madera.

La zona donde se ubican las obras contempladas en el presente proyecto presenta una peligrosidad sísmica de intensidad VIII (Figura 3) y una aceleración sísmica básica (a_b) de 0.21g (Figura 4 y Figura 5).

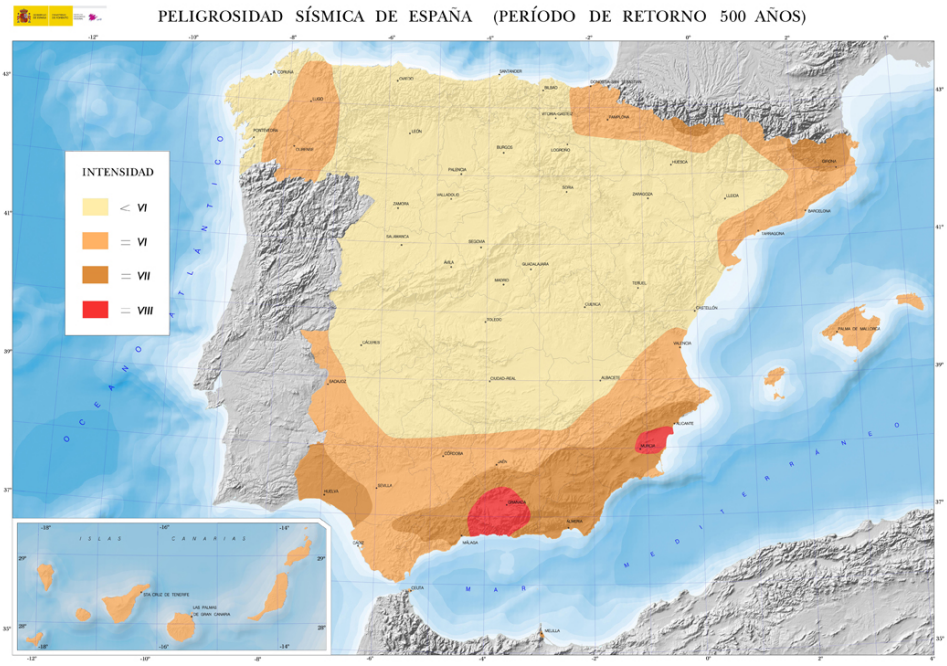


Figura 3. Mapa de peligrosidad sísmica en España. Intensidad.

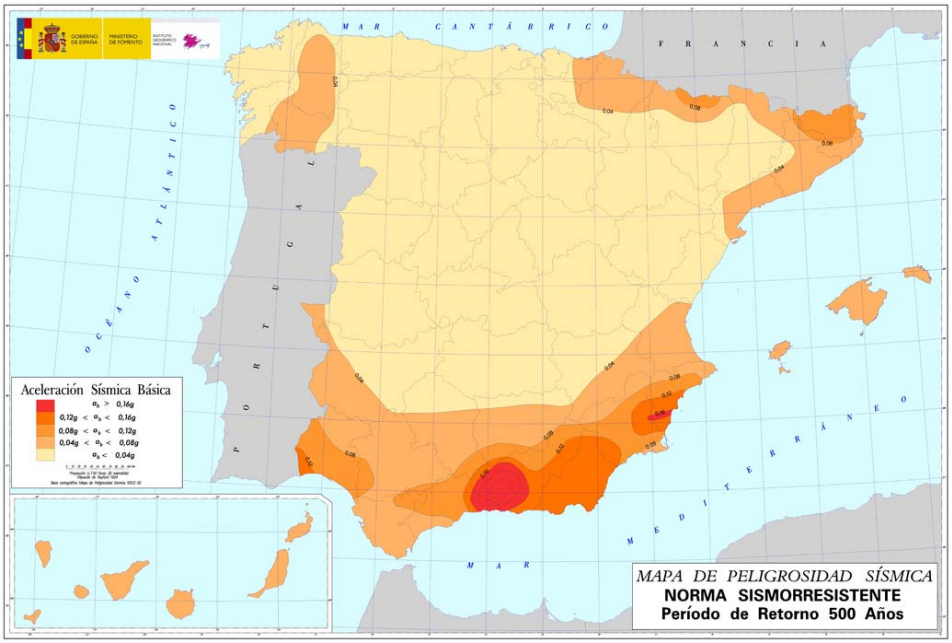


Figura 4. Mapa de peligrosidad sísmica en España. Aceleración sísmica básica.

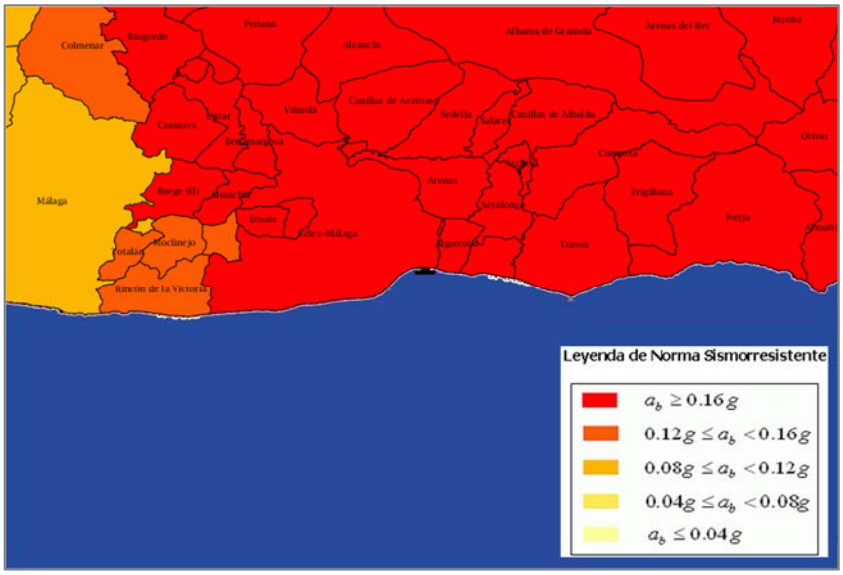


Figura 5. Detalle de la peligrosidad sísmica en términos de aceleración sísmica básica para la zona de estudio.

En el anejo *A03 Geología y geotecnia* se dan los valores de cálculo para sismicidad.

3.2.3 Uso y explotación (pasarelas)

3.2.3.1 Sobrecarga de uso

La instrucción IAP-11 prescribe que para la determinación de los efectos estáticos de la sobrecarga de uso debida al tráfico de peatones, se considerará la acción simultánea de las cargas siguientes:

A) Una carga vertical uniformemente distribuida de valor igual a 5 kN/m2 en toda la superficie o en parte de ella, según la condición más desfavorable.

B) Una carga horizontal de valor máximo igual al 10% de la carga uniformemente distribuida, actuando en el eje del tablero y a nivel de la superficie del pavimento.

Ambas cargas A) y B) se consideran como una carga única, de valor característico de sobrecarga de uso cuando se combina con otro tipo de cargas.

Por otra parte, el Eurocódigo EN 1991-2-2003 considera las mismas cargas mencionadas anteriormente, pero establece una reducción de la sobrecarga para tramos cargados de longitudes mayores de 10 metros, que se aplican en proyectos de pasarelas peatonales.

3.2.3.2 Acciones en las barandillas

Se considera para la comprobación de la barandilla una fuerza horizontal sobre el borde superior del elemento de 0,8 kN/m.

4 DIMENSIONAMIENTO DE PASARELAS

4.1 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS (E.L.U.)

Se deben considerar los siguientes estados:

• E.L.U. de rotura, por deformación plástica excesiva o inestabilidad local por abollamiento, donde se deberán tener en cuenta las uniones.

• E.L.U. de pérdida de equilibrio por falta de estabilidad de una parte o de la totalidad de la pasarela.

De acuerdo con la normativa aplicable, en las situaciones de cálculo estudiadas se tiene en cuenta, la probabilidad de que cada una de ellas actúe con su valor más desfavorable. Para ello se definen las combinaciones de acciones, los coeficientes parciales de seguridad y los coeficientes de simultaneidad, en las situaciones de cálculo siguientes:

• Situación permanente.

• Situación transitoria, si es relevante o controla el diseño.

• Situación accidental.

Las combinaciones de acciones posibles son:

• En situaciones de cálculo con cargas persistentes y transitorias:

$$\Sigma \gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q_1 + \Sigma \gamma_Q \times \psi_0 \times Q$$

• En situaciones de cálculo accidentales:

$$\Sigma \gamma_G \times G + \gamma_A \times A + \gamma_Q \times \psi_1 \times Q_1 + \Sigma \gamma_Q \times \psi_2 \times Q$$

Siendo:

G: valor característico de las acciones permanentes.

Q1: valor característico de la acción variable dominante en la situación de cálculo considerada.

Q: valor característico del resto de las acciones variables.

A: valor característico de la acción accidental.

$\Psi_{0, 1, 2}$: Coeficientes de simultaneidad.

$Y_{G, Q, A}$: Coeficientes parciales de seguridad.

De acuerdo con la Normativa IAP-11, los valores representativos de las acciones variables vienen afectados por los coeficientes de simultaneidad, según la comprobación que se considere:

• Valor de combinación persistente o transitoria $\Psi_0 Q$: valor de la acción variable concomitante con otra dominante en comprobación en Estados Límite Últimos, en situaciones persistentes o transitorias.

• Valor de combinación frecuente $\Psi_1 Q$: valor frecuente de la principal acción variable concomitante con otra del tipo accidental.

• Valor de combinación casi-permanente $\Psi_2 Q$: valor casi-permanente del resto de las acciones variables concomitante con la principal acción variable y con otra del tipo accidental.

Se resumen los coeficientes de simultaneidad en el siguiente cuadro (Normativa IAP-11, 2011):

Acción	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga de Uso	0,40	0,40	0
Viento	0,30	0,20	0
Acción Térmica	0,60	0,60	0,50
Nieve	0,80	0	0
Acción del Agua	1,00	1,00	1,00
Sobrecarga de Construcción	1,00	0	0

Aparte de la verificación del estado tensional de los elementos de la estructura, adquiere particular importancia, por su exposición, la comprobación estructural de las uniones y de cómo puede variar su comportamiento con el paso del tiempo.

4.2 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (E.L.S.)

Independiente del material constitutivo de la pasarela, sea de madera, metálica o mixta, se fijan una serie de limitaciones de servicio a cumplir.

• Limitaciones de deformaciones (flechas y curvatura).

• Limitaciones a las frecuencias propias de vibración, para evitar las vibraciones inadmisibles.

• Limitaciones en anchura de fisura, en el caso de elementos de hormigón.

4.2.1 Pasarela de madera

En relación con las deformaciones de la estructura, es necesario conocer algunos parámetros específicos de la madera como estructura:

Factor de fluencia k_{def}:

El desplazamiento final de un elemento estructural se calculará según la expresión:

$W_{fin} = w_{ini} + w_{creep} = w_{ini} (1 + \Psi K_{def})$

Donde:

w_{ini}: desplazamiento elástico instantáneo.

w_{creep}: deformación diferida.

Ψ: coeficiente de simultaneidad:

- Para las cargas permanentes es 1,00.
- Para las cargas variables o transitorias es:
  - Para acción variable valor de combinación = 0,70.
  - Para acción variable de valor frecuente = 0,50.
  - Para acción variable de valor casi-permanente = 0,30.

• k_{def}: factor de desplazamiento diferido.

En la siguiente tabla se recogen los valores para K_{def} en función de la clase de servicio del elemento estructural para cargas de duración permanente (exclusivamente). Para el caso de las pasarelas se deberá aplicar la Clase de Servicio 3, pues son estructuras expuestas a la intemperie. Limitación de la deformación:

Material	Clase de servicio 1	Clase de servicio 2	Clase de servicio 3
Madera maciza	0,60	0,80	2,00
Madera laminada encolada	0,60	0,80	2,00
Madera microlaminada	0,60	0,80	2,00
Tablero contrachapado	0,80	1,00	2,50

La norma prEN 1995-2 específica un rango de valores límite de deformación en elementos estructurales principales para carga uniforme de tráfico peatonal y de vehículo de servicio ligero, en función de la luz, L, del elemento (viga, placa o celosía).

La flecha máxima que contempla la citada norma se encuentra entre los valores L/200 y L/400.

Vibraciones:

Cálculo según norma EN 1995-2.

4.2.2 Pasarela metálica y mixta

Deformaciones.

Según la RPM-95, y a partir del 23 de diciembre de 2011 que entra en vigor, la EAE-11 Instrucción del Acero Estructural, y la RPX-95, se recomienda dotar de contraflecha para la carga permanente.

La flecha correspondiente a la parte de sobrecarga de combinación frecuente será igual o menor que L/1200 en pasarelas peatonales y puentes urbanos con aceras accesibles.

Vibraciones:

Las pasarelas metálicas y mixtas suelen ser estructuras flexibles propensas a la aparición de vibraciones.

Las frecuencias de las acciones por peatón varían aproximadamente entre 2 y 3,5 Hz. El objetivo principal es evitar que estas frecuencias coincidan con la frecuencia natural de la estructura. En una primera aproximación, la frecuencia natural de una pasarela puede aproximarse a los siguientes valores:

fn = 35. L-0,73 para pasarelas en estructura de acero.

fn = 42. L-0,84 para pasarelas en estructura mixta.

Donde:

fn: frecuencia natural, en Hz.

L: luz en metros.

De las expresiones anteriores se deduce que los problemas de vibración, muy probablemente, empiezan a partir de los 30 a 40 m de vano.

4.3 CÁLCULO DE LAS CIMENTACIONES, ESTRIBOS Y ALETAS

En el diseño de las cimentaciones y estribos, se tendrá en cuenta lo establecido en el Informe geotécnico y los datos de la pasarela en cuanto a definición geométrica y acciones. A partir de ahí, se decidirá la tipología de la cimentación adoptada.

La tipología de los estribos y aletas viene influenciada por la disposición geométrica de la pasarela respecto a los accesos y respecto a la vaguada que cruza.

Una vez fijada la tipología de la cimentación se efectuarán las comprobaciones siguientes:

• Comprobación a hundimiento. Que será función de la capacidad portante del terreno y de las cargas actuantes.

• Movimientos o asientos a corto o a largo plazo. Lo que se intenta obtener es conocer la influencia que pueden tener en la superestructura.

• Comprobación de la estabilidad. Se deben comprobar los coeficientes de seguridad al vuelco y al deslizamiento. Es importante, que en esta comprobación sea posible determinar claramente cuando es posible ayudarse de la cohesión del terreno y en que caso de los empujes desarrollados por el mismo (activos, pasivos o al reposo), especialmente en el diseño de elementos de contención, como son los estribos y aletas. En el caso de zapatas sobre lecho fluvial los empujes asumidos pueden variar con el tiempo ante, por ejemplo, posibles erosiones del terreno.

• Comprobación del fallo global. Este cálculo será especialmente relevante en el caso de cimentaciones a medias laderas. También deberá tenerse en cuenta la posibilidad de descalces por obras futuras próximas a la pasarela.

• Comprobación de descalces por la erosión o socavación de las cimentaciones, normalmente motivado por las acciones fluviales o drenajes de terceros próximos.

• Diseño estructural de los elementos. Consiste en el correcto armado de las zapatas, pilotes, estribos y aletas, tras las comprobaciones anteriores.

4.3.1 Acciones a considerar

Aparte de las procedentes de la superestructura y las ya definidas en capítulos anteriores, específicamente en obras de cimentación, aletas y estribos, se consideran las siguientes acciones:

- Pesos propios.
- Acciones sísmicas en estribos, zapatas, etc.

- Empujes de tierras.
- Empujes hidrostáticos.
- Empujes hidrodinámicos.
- Subpresión.
- Asientos diferenciales.

Los detalles de obtención de estas cargas, así como los coeficientes de seguridad al hundimiento, los relacionados con la estabilidad a vuelco y a deslizamiento y los métodos de cálculo aplicables a las pasarelas, son los descritos en la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera, del Ministerio de Fomento (2003) y se plasmarán en el Anejo 21 de Cálculo de estructuras.

En cuanto a las acciones por empuje de tierras, empuje hidrodinámico y asientos, se considera la *Norma IAP-11 Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera*.

5 NORMAS Y RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN

El presente documento se elabora con base en las siguientes disposiciones vigentes:

- Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre de 1989, por el que se regula el Reglamento de la Ley de Costas.
- Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad.
- Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados.

- Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad.
- Decreto 293/2009, de 7 de julio, por el que se aprueba el reglamento que regula las normas para la accesibilidad en las infraestructuras, el urbanismo, la edificación y el transporte en Andalucía.

Y en atención a las siguientes normas y recomendaciones:

- Directrices para el tratamiento del borde costero. Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad. Dirección General de Costas. Ministerio de Medio Ambiente.
- Directrices sobre actuaciones en playa. Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad. Dirección General de Costas. Ministerio de Medio Ambiente.
- Recomendaciones para Obras Marítimas (R.O.M.). Puertos del Estado, Ministerio de Fomento.
  - ROM 0.0 "Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias".
  - ROM 1.0 "Descripción de los agentes climáticos en las obras marítimas y bases para el diseño de los diques de abrigo".
  - ROM 0.3-91 "Recomendación para Oleaje y Atlas de Clima Marítimo en el Litoral español."
- Norma de Construcción Sismorresistente NCSR-02.

La normativa vigente aplicable al cálculo de pasarelas se agrupa de la siguiente forma:

- Acciones:
  - Norma IAP-11, Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera. En ella se contempla las acciones para pasarelas peatonales, ciclistas, etc.

- Eurocódigo 1. Acciones en estructuras.
- Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07). Para las acciones sísmicas.

▪ Pasarelas metálicas:

- Instrucción de Acero Estructural EAE-11. Para las pasarelas metálicas de acero laminado.
- Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero.
- Código técnico de la edificación. CTE. Documento Básico SE-A Seguridad Estructural. Acero.

▪ Pasarelas de hormigón:

- Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Para las estructuras de hormigón armado en general.
- Eurocódigo 2. Proyecto de estructuras de hormigón.

▪ Pasarelas mixtas:

- Eurocódigo 4. Proyecto de estructuras mixtas.
- Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras RPX-95. Para las pasarelas mixtas (acero y hormigón).

▪ Pasarelas de madera:

- Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 2: Puentes.
- Código técnico de la edificación. CTE. Documento Básico SE-M Seguridad Estructural. Madera.

▪ Cimentaciones (al no existir normativa específica):

- Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Para las estructuras de hormigón armado en general.
- Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera, del Ministerio de Fomento (2003).