

ANEJO N° 5

Sismicidad

Índice

1 Introducción	1
1.1 Objeto del documento	1
1.2 Descripción de la estructura	1
2 Normativa a considerar	3
3 Clasificación de las construcciones de proyecto	5
4 Aceleración sísmica básica	6
5 Aceleración sísmica de cálculo	7
5.1 Deducción del coeficiente C del terreno	7
6 Espectros de respuesta elástica	9
6.1 Componentes horizontales	9
6.2 Componente vertical	10
7 Cálculo modal espectral	11

1 Introducción

1.1 Objeto del documento

El objeto del presente documento es la definición de las acciones sísmicas a considerar en el dimensionamiento del ascensor y la pasarela de entre la calle Salud y la calle San Roke en Donostia – San Sebastián.

1.2 Descripción de la estructura

La pasarela ascensor se ubica en San Sebastián entre las calles San Roque y La Salud, como se aprecia en el plano SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO, y salva el desnivel de aproximadamente 28 metros existente entre ambas calles.

La pasarela presenta una ligera pendiente descendente del 2% entre el desembarco de la calle San Roque y el acceso al ascensor en la unión pila-dintel, como se refleja en el plano PERFIL LONGITUDINAL. Debido a que la directriz del dintel es horizontal, y la del tablero ligeramente inclinada, está presente una planta con bordes longitudinales elípticos, con una sección útil variable entre aproximadamente 3,2 y 4,8 metros (ver plano SECCIONES TRANSVERSALES TIPO).

El dintel se apoya junto a la calle San Roque en un estribo de hormigón armado de planta de directriz circular. Su geometría y detalles se recogen en los planos ESTRIBO. El pórtico se cimenta en la calle de La Salud en una zapata rectangular con una abertura circular que permite el paso del ascensor a través suyo. La ejecución de esta cimentación corresponde a las obras de la pasante ferroviaria de San Sebastián (ver planos CIMENTACIÓN PILA).

La estructura metálica portante está formada por dos pórticos laterales cuya sección es un cajón formado dos sectores circulares concéntricos (almas), y dos chapas radiales (alas). La altura de los cajones varía linealmente creciendo desde los apoyos hasta la unión pila-dintel. En esta zona ambos cajones se unen en uno único que presenta la sección circular completa de 6 metros de diámetro exterior, y 5 metros de diámetro interior. Los cajones se rigidizan interiormente mediante mamparos dispuestos cada 2,5 metros en pila y dintel. Estos elementos, formados por chapas simples de directriz circular, dan lugar a la forma del puente como las cuadernas de un barco, a la vez que impiden fenómenos de inestabilidad transversal. En el dintel los cajones metálicos se unen inferiormente mediante unas viguetas metálicas transversales situadas a eje de los mamparos. En el nudo de unión los mamparos de pila y dintel intersectan, y en la costura de intersección de superficies se dispone un mamparo elíptico.

Las alas de los cajones de pila y dintel presentan un trazado elíptico y se unen en el nudo pila-dintel. Las alas presentan continuidad en el interior de la sección completa, mediante sendas chapa horizontales superior e inferior en el dintel, y dos chapas verticales exterior e interior en la pila.

El dintel presenta cinco aligeramientos trapezoidales con los ángulos achaflanados. La geometría de estos alveolos se inscribe en una triangulación ficticia del casco para evitar flexiones parásitas en los bordes de las ventanas. De todos modos las mismas se rigidizan superior e interiormente

mediante chapas horizontales dispuestas radicalmente en la sección. Estos elementos quedan ocultos en el interior del casco.

Cada pórtico se articula en su base con tres chapas y un bulón dotado de rótula esférica para evitar su acuíñamiento.

Atendiendo a la tabla 6.2.3 de la EAE, la estructura debe ser clasificada como de clase de ejecución 3:

- Nivel de riesgo CC3: elementos cuyo fallo compromete a la seguridad de personas.
- Categoría de uso SC2: estructuras sometidas a acciones predominantemente estáticas.
- Categoría de ejecución PC2: componentes con soldaduras de acero de grado S355.

En los planos ESTRUCTURA METÁLICA se refleja la geometría y detalles de la misma.

El dintel de la estructura dispone de un pasamanos a cada lado, así como un drenaje lateral cuyo punto bajo está junto a la pila. Junto al cajón de drenaje discurre un conducto para alojar la iluminación interior del puente. Estos detalles figuran en el plano BARANDILLA Y REMATES DINTEL.

Las aberturas elípticas de la pila se cierran con una superficie plana de vidrio, cuyo detalle se refleja en el plano CIERRES PILA.

En el plano PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO se describen las fases que comprenden el mismo.

2 Normativa a considerar

La normativa vigente a efectos de sismorresistencia de estructuras es:

- NCSE-2002: Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación. Aprobada por REAL DECRETO 997/2002, de 27 de septiembre.
- NCSP-2007: Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes. Aprobada por REAL DECRETO 637/2007, de 18 de mayo.

La NCSE-2002 es de aplicación a todos los proyectos de obras de construcción relativos a edificación, y, en lo que corresponda, a los demás tipos de construcciones, en tanto no se aprueben para los mismos normas o disposiciones legales específicas con prescripciones de contenido sismorresistente.

En la citada Norma, determinadas prescripciones específicas se refieren a edificación, y el contenido de algunos aspectos relativos a cálculo, elementos estructurales, reglas de diseño y definición del espectro de respuesta elástica, prácticamente atienden con carácter exclusivo a la edificación.

No obstante, la NCSE-02 y, en particular, los valores de la aceleración sísmica básica y de los correspondientes coeficientes de contribución, ambos prescritos para los municipios que se incluyen en ella, constituyen, desde la aprobación de la Norma, la referencia para el proyecto de puentes.

Sin embargo, desde un punto de vista sísmico, en el proyecto de puentes deben tomarse en consideración determinadas características específicas de los mismos: frecuencia de vibraciones, proceso constructivo, respuesta estructural, vida útil, etc.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que los puentes, tanto de carretera como de ferrocarril, constituyen elementos esenciales de las infraestructuras de transporte y, en consecuencia, su comportamiento ante fenómenos sísmicos debe ser tal que evite, en casos de terremotos de intensidad elevada, consecuencias graves para la seguridad y salud de las personas, pérdidas económicas y propicie la conservación de un servicio básico, como es el de transporte, en casos de terremotos de intensidad elevada.

Las consideraciones expuestas, junto a la experiencia adquirida en la aplicación de la NCSE-02, llevaron a la elaboración de una norma de construcción sismorresistente relativa a los puentes, la NCSP-2007, cuyo ámbito de aplicación se extiende a todos los proyectos y obras de nueva construcción de puentes que formen parte de la red de carreteras del Estado o de la red ferroviaria de interés general. Así, dentro del marco establecido por la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación, esta parte de la Norma contiene los criterios específicos que han de tenerse en cuenta en el territorio español para la consideración de la acción sísmica en el proyecto de puentes de carretera y ferrocarril. Su contenido es, por tanto, coherente con las prescripciones de índole general incluidas en la Parte General y Edificación que son:

- Clasificación de las construcciones.
- Criterios de aplicación de la Norma.
- Cumplimiento de la Norma.

- Mapa de peligrosidad sísmica. Aceleración sísmica básica
- Aceleración sísmica de cálculo.

3 Clasificación de las construcciones de proyecto

De acuerdo con el uso a que se destinan, con los daños que puede ocasionar su destrucción e independientemente del tipo de obra de que se trate, las construcciones se clasifican en:

- Construcciones de importancia moderada: aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños significativos a terceros.
- Construcciones de importancia normal: aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir daños económicos significativos a terceros.
- Construcciones de importancia especial: aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos.

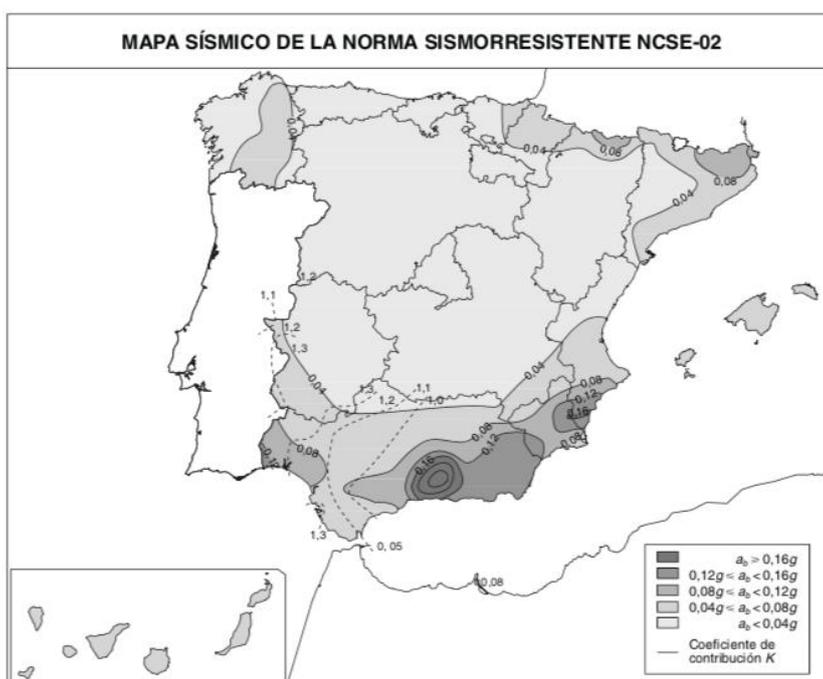
Según lo indicado por la IAP-11 de manera general, los puentes de red de carreteras del Estado se consideran como puentes de importancia normal, por lo que consideramos el puente de importancia normal.

4 Aceleración sísmica básica

El término municipal de Donostia – San Sebastián se encuentra, según lo descrito en la Norma de Construcción Sismorresistente de Puentes (NCSP-07), en la lista de municipios con una aceleración básica mayor o igual que 0,04g, por lo que, tal y como figura en dicha norma, se ha tener en cuenta la posible acción sísmica en la realización de los cálculos estructurales. Más en concreto, para Donostia – San Sebastián:

- Aceleración básica: $a_b = 0,04g$
- Coeficiente de contribución: $K = 1$

Valores que coinciden con lo indicado en el mapa sísmico de la misma norma:



5 Aceleración sísmica de cálculo

5.1 Deducción del coeficiente C del terreno

El coeficiente del terreno depende de las propiedades geotécnicas del terreno de cimentación, calculándose de acuerdo con el anejo geotécnico y a partir de unas hipótesis de composición de estratos representativa para las estructuras de proyecto.

De acuerdo con el apartado 2.4 de la NCSE-2002; constituyente de las prescripciones de índole general:

“En esta Norma, los terrenos se clasifican en:

- Terreno tipo I: Roca compacta, suelo cimentado o granular muy denso. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla $v_s > 750$ m/s.
- Terreno tipo II: Roca muy fracturada, suelos granulares densos cohesivos duros. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla 400 m/s $< v_s < 750$ m/s.
- Terreno tipo III: Suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia alta a muy alta. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla 200 m/s $< v_s < 400$ m/s.
- Terreno tipo IV: Suelo granular de compacidad baja, o suelo cohesivo de consistencia media a baja. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla $v_s < 200$ m/s.

A cada topología de terreno se le asigna un valor del coeficiente del terreno C, indicado en la siguiente tabla:

Tipo de terreno	Coeficiente C
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

En este caso consideramos el siguiente tipo del terreno:

- Tipo I: Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso

Por lo que el coeficiente de terreno en este caso será $C = 1,0$.

Determinación de la aceleración sísmica de cálculo

La aceleración sísmica de cálculo, según el artículo 2.2 de la NCSE-2002, se calcula mediante la relación:

$$a_c = S \times \rho \times a_b$$

Donde:

- a_b : Aceleración sísmica básica.
- ρ : Coeficiente adimensional de riesgo
 - $\rho = \gamma_I * \gamma_{II}$
 - γ_I : Factor de importancia en función de la importancia del puente
 - Según lo indicado por la IAP-11 de manera general, los puentes de red de carreteras del Estado se consideran como puentes de importancia normal, por lo que
 - $\gamma_I = 1$
 - γ_{II} : Factor modificador para considerar un periodo de retorno diferente de 500 años
 - Se considera un periodo de retorno de 500 años, así:
 - $\gamma_{II} = 1$
 - Así, $\rho = 1 \times 1 = 1$
- S: Coeficiente de amplificación del terreno.
 - Para $\rho \cdot a_b \leq 0,1 g$

$$S = \frac{C}{1,25}$$
 - Para $0,1 g < \rho \cdot a_b < 0,4 g$

$$S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \left(\rho \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left(1 - \frac{C}{1,25} \right)$$
 - Para $0,4 g \leq \rho \cdot a_b$

$$S = 1,0$$

En este caso, $S = C/1,25 = 1/1,25 = 0,8$.

Por lo que la aceleración de cálculo será: $a_c = 0,8 \times 1 \times 0,04g = 0,032g$.

6 Espectros de respuesta elástica

6.1 Componentes horizontales

Para las componentes horizontales de la acción sísmica, se considerará el siguiente espectro de respuesta elástica de aceleraciones $S_a(T)$, correspondiente a un oscilador lineal simple.

$$0 \leq T \leq T_A: \quad S_a(T) = \left[1 + \frac{T}{T_A} (2,5 \nu - 1) \right] a_c$$

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_a(T) = 2,5 \nu a_c$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_a(T) = 2,5 \nu \frac{T_B}{T} a_c$$

$$T_C \leq T: \quad S_a(T) = 2,5 \nu \frac{T_B T_C}{T^2} a_c$$

siendo:

- a_c : aceleración sísmica de cálculo
- ν : factor corrector dependiente del amortiguamiento equivalente de la estructura, que puede obtenerse mediante la expresión:

$$\nu = (5 / \zeta)^{0,5} \geq 0,55$$

expresión válida para $\zeta > 1\%$.

En este caso, consideramos un valor de amortiguamiento de 4% bajo la acción del sismo último.

Valores recomendados para el índice de amortiguamiento ζ (en porcentaje)

Tipo de estructura	Bajo la acción del sismo frecuente de cálculo	Bajo la acción del sismo último de cálculo
Puentes de acero Puentes de hormigón pretensado Puentes mixtos	2	4
Puentes de hormigón armado	3	5

- Valores del periodo que limitan el espectro. Los valores de las expresiones de la siguiente tabla:

Valores del periodo que delimitan el espectro (en segundos)

Sismo último de cálculo	Sismo frecuente de cálculo Sismo de construcción
$T_A = K C / 10$ $T_B = K C / 2,5$ $T_C = K (2 + C)$	$T_A = K C / 20$ $T_B = K C / 5$ $T_C = K (1 + 0,5 C)$

6.2 Componente vertical

A falta de estudios más detallados, el espectro correspondiente a la componente vertical podrá obtenerse simplificadaamente a partir del horizontal multiplicado por un factor igual a 0,7.

7 Cálculo modal espectral

En aquellos casos en que se establezca, que la estructura va a tener un comportamiento dúctil o de ductilidad limitada bajo la acción del sismo último de cálculo, se utilizará un espectro de respuesta reducido de acuerdo con la siguiente expresión:

$$S_{a,r}(T) = \frac{1}{q} S_a(T)$$

siendo,

$S_{a,r}(T)$ = espectro de respuesta reducido o espectro de cálculo

$S_a(T)$ = espectro de respuesta elástica correspondiente al sismo último de cálculo

q: factor de comportamiento

El factor de comportamiento q se define globalmente para toda la estructura y es un índice de su ductilidad.

- Se escogen los valores de la siguiente tabla correspondientes a las pilas de acero inclinadas trabajando a flexión.

Tipo de elemento dúctil	Tipo de comportamiento	
	Ductilidad limitada	Dúctil
Pilas de hormigón armado: Pilas verticales trabajando a flexión ⁽¹⁾ Pilas inclinadas trabajando a flexión	1,5 1,2	3,5 λ (α_B) 2,1 λ (α_B)
Pilas de acero Pilas verticales trabajando a flexión Pilas inclinadas trabajando a flexión Pilas con arriostramientos centrados Pilas con arriostramientos descentrados ⁽²⁾	1,5 1,2 1,5 —	3,5 2,0 2,5 3,5
Estribos rígidamente unidos al tablero En general Marcos encajados en el terreno	1,5 1,0	1,5 1,0
Arcos	1,2	2,0