

# ANEJO Nº 4. EFECTOS SÍSMICOS

## ÍNDICE

<b>4. ANEJO Nº 4. EFECTOS SÍSMICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>4.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>4.2. CRITERIOS DE APLICACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>4.3. ACCIONES SÍSMICAS .....</b>	<b>3</b>
4.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES.....	3
4.3.2. ACCELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO.....	4
4.3.3. CONDICIONES DEL TERRENO .....	5
4.3.4. ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA .....	6
4.3.4.1. Espectro de respuesta elástica para movimientos horizontales .....	6
4.3.4.1. Espectro de respuesta elástica para movimientos verticales.....	8
<b>4.4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>10</b>

## 4. ANEJO Nº 4. EFECTOS SÍSMICOS

### 4.1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se determina la aceleración sísmica de cálculo del proyecto de acuerdo con UNE-EN 1998-1 (Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación).

En los cálculos desarrollados se ha tenido en cuenta, además, la propuesta de Anejo Nacional AN/UNE-EN 1998-1 y la “Guía para el proyecto sísmico de puentes de carretera” publicada por la Dirección General de Carreteras en 2019.

### 4.2. CRITERIOS DE APLICACIÓN

Según el apartado 3.2.1(5) de UNE-EN 1998-1 no será necesaria la consideración de las acciones sísmicas para zonas de muy baja sismicidad, cuyo umbral de acuerdo con el Anejo Nacional es  $a_{gR} < 0,04g$ , siendo  $a_{gR}$  la aceleración (horizontal) pico de referencia en terreno tipo A (roca) definida en el apartado AN.5 del Anejo Nacional.

En el apartado 4.3.2 del presente documento se especifica que la aceleración de referencia para este Proyecto es  $0,116g$  y, en consecuencia, se deben considerar las acciones sísmicas.

La Figura 1 identifica el emplazamiento del proyecto en el Mapa de Peligrosidad Sísmica de España, publicado en 2015 por el Centro Nacional de Información Geográfica de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. Este mapa define la aceleración (horizontal) máxima del suelo para un periodo de retorno de 475 años (10% de probabilidad de excedencia en 50 años) para un suelo tipo roca ( $v_{s30} \geq 750$  m/s).

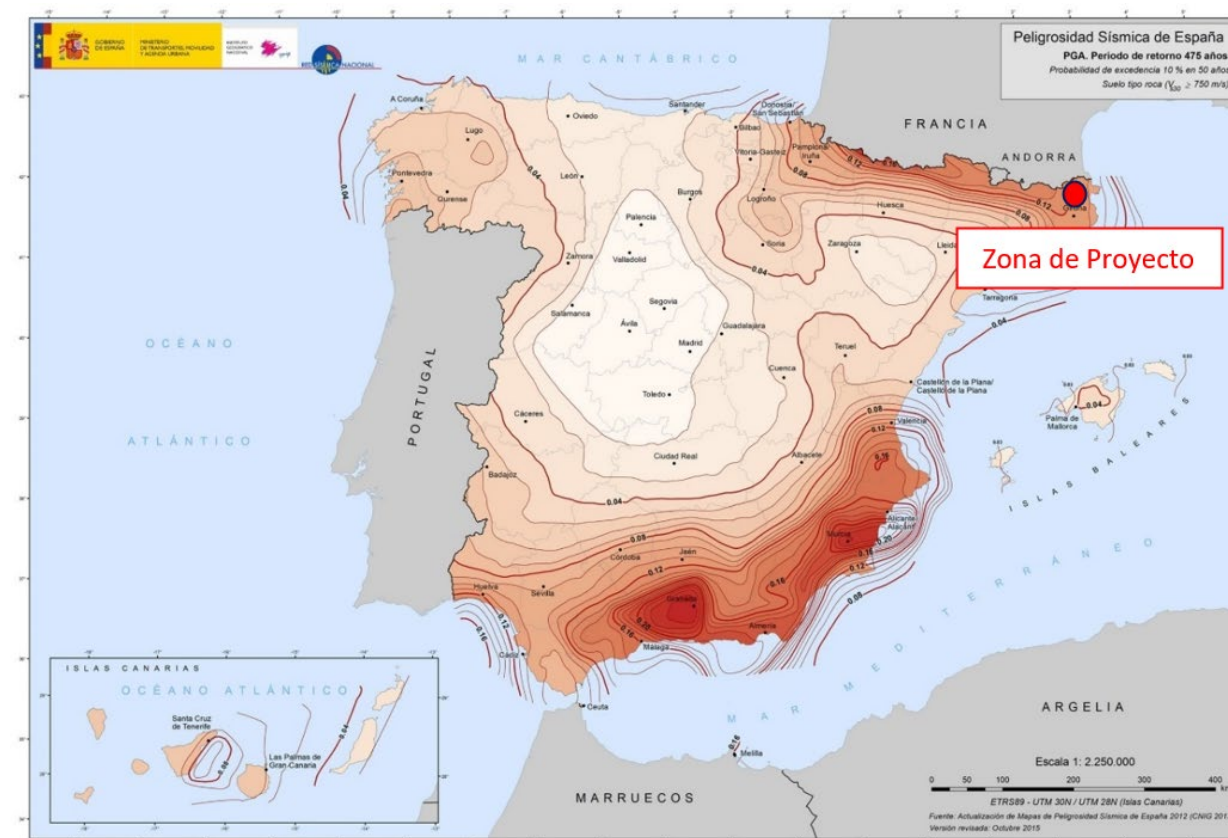
### 4.3. ACCIONES SÍSMICAS

#### 4.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES

De acuerdo con el apartado 2.1(4)P de UNE-EN 1998-2, la clase de importancia de los puentes y, por tanto, el factor de importancia  $\gamma_I$ , deben ser establecidos sobre la base de las consecuencias del fallo en términos de vidas humanas, de la importancia de la estructura de cara al mantenimiento de las comunicaciones tras un evento sísmico y de las consecuencias económicas del colapso potencial de la estructura. La UNE-EN 1998-2 recomienda la clasificación de los puentes en tres clases de importancia:

- La clase II corresponde a una estructura de importancia normal, que es a la que generalmente se considera que pertenecen los puentes, con las excepciones asociadas a las clases I y III.
- La clase I corresponde a puentes que no son críticos para las comunicaciones y en los cuales no se justifica económicamente la adopción de una vida útil de diseño de 50 años o de un sismo de diseño con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

- La clase III corresponde a infraestructuras críticas para mantener las comunicaciones, especialmente tras un sismo, a puentes cuyo colapso estaría asociado a un gran número de víctimas probables y a puentes principales para los que se requiere un periodo de vida útil de referencia asociado a la determinación de la acción sísmica superior del normal.



**Figura 1. Mapa de Peligrosidad Sísmica de España. PGA (T=475 años)**

Las clases I, II y III corresponden, aproximadamente, a las clases de consecuencias CC1, CC2 y CC3 definidas en el apartado B3.1 de la UNE-EN 1990, resumida en la Tabla 1.

**Tabla 1. Correspondencia entre clases de importancia y clases de consecuencias**

Clases de importancia	Clases de consecuencia	Descripción
I	CC1	Probabilidad leve de pérdidas de vidas humanas y consecuencias económicas, sociales o medioambientales mínimas o despreciables.
II	CC2	Probabilidad moderada de pérdidas de vidas humanas y consecuencias económicas, sociales o medioambientales considerables.
III	CC3	Probabilidad alta de pérdidas de vidas humanas y consecuencias económicas, sociales o medioambientales muy importantes.

En la cláusula 2.1(4)P del Anejo Nacional de UNE-EN 1998-2 se señala que las categorías de los puentes, atendiendo a criterios de afección y acciones sísmicas, se definirán de acuerdo con el uso al que se destine la estructura y con los daños que pueda ocasionar su destrucción, distinguiéndose a estos efectos las siguientes categorías:

- Clase de importancia I: Puentes de importancia moderada

Se incluyen aquellos puentes que, a juicio de la autoridad competente, tengan una probabilidad despreciable de que su destrucción pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario u ocasionar daños económicos significativos a terceros.

- Clase de importancia II: Puentes de importancia normal

Son aquéllos cuya destrucción pueda ocasionar víctimas o interrumpir un servicio necesario para la colectividad o producir importantes pérdidas económicas, siempre que no se trate de un servicio imprescindible, ni pueda dar lugar a efectos catastróficos, todo ello a juicio de la autoridad competente.

- Clase de importancia III: Puentes de importancia especial

Son aquéllos cuya destrucción puede interrumpir un servicio imprescindible tras el terremoto o dar lugar a efectos catastróficos, todo ello a juicio de la autoridad competente.

La cláusula 2.1(6) de UNE-EN 1998-2 es la que determina el factor de importancia para puentes. Para la clase II el valor que debe adoptarse es  $\gamma_I=1,00$ , asociado a la acción sísmica con el periodo de referencia  $T_{NCR}=475$  años. En cambio, para las clases de importante I y III, los factores de importancia son parámetros de determinación nacional:

- El valor recomendado para la clase I es  $\gamma_I=0,85$ , mientras que el Anejo Nacional deja la responsabilidad de fijar el valor para esta clase a la autoridad competente.
- Para la clase de importancia III el Anejo Nacional adopta el valor recomendado del factor de importancia,  $\gamma_I=1,30$ .

De acuerdo con lo expuesto, las estructuras y los muros incluidos en este Proyecto se consideran de **Importancia Normal** (clase II) y por tanto el valor del factor de importancia adoptado es  $\gamma_I=1,00$ .

#### 4.3.2. ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO

Para la definición de la acción sísmica el apartado 3.2.1(P) de UNE-EN 1998-1 requiere que los territorios queden divididos por las administraciones nacionales en zonas sísmicas en función de la peligrosidad sísmica, que será constante en cada zona. Estas zonas quedan caracterizadas por la aceleración máxima del suelo (PGA) referida a un terreno de tipo A (roca),  $a_{gR}$ . Esta aceleración corresponde a un periodo de retorno  $T_{NCR}$  para el sismo asociado al requisito de no colapso adoptado por las administraciones nacionales.

El Anejo Nacional de UNE-EN 1998-1 define la peligrosidad sísmica en cada punto del terreno nacional, en una malla de puntos separados 0,1 grados en coordenadas geodésicas de longitud y latitud. Las coordenadas correspondientes al emplazamiento del Proyecto son las siguientes:

- Latitud: 42º 13' N → 42,2º
- Longitud: 2º 56' O → 2,95º

De acuerdo con el Anejo AN.5 (*Valores de aceleración horizontal pico de referencia en suelo tipo A y parámetro K*) del Anejo Nacional de UNE-EN 1998-1 (Figura 2), los valores correspondientes al emplazamiento de Proyecto son los siguientes:

- $a_{gR} = 0,116\text{-}g$
- $K = 1,00$  (coeficiente de contribución de la zona Azores-Gibraltar)

AN/UNE-EN 1998-1

Long	Lat	K	ag,R	Long	Lat	K	ag,R	Long	Lat	K	ag,R	Long	Lat	K	ag,R
-0,4	42,2	1,0	0,048	-7,6	42,3	1,0	0,055	1,2	42,3	1,0	0,102	-6,2	42,4	1,0	0,040
-0,3	42,2	1,0	0,049	-7,5	42,3	1,0	0,052	1,3	42,3	1,0	0,108	-6,1	42,4	1,0	0,039
-0,2	42,2	1,0	0,050	-7,4	42,3	1,0	0,050	1,4	42,3	1,0	0,113	-3,1	42,4	1,0	0,040
-0,1	42,2	1,0	0,052	-7,3	42,3	1,0	0,048	1,5	42,3	1,0	0,116	-3,0	42,4	1,0	0,042
0,0	42,2	1,0	0,053	-7,2	42,3	1,0	0,048	1,6	42,3	1,0	0,118	-2,9	42,4	1,0	0,045
0,1	42,2	1,0	0,055	-7,1	42,3	1,0	0,047	1,7	42,3	1,0	0,121	-2,8	42,4	1,0	0,048
0,2	42,2	1,0	0,056	-7,0	42,3	1,0	0,046	1,8	42,3	1,0	0,124	-2,7	42,4	1,0	0,050
0,3	42,2	1,0	0,058	-6,9	42,3	1,0	0,045	1,9	42,3	1,0	0,126	-2,6	42,4	1,0	0,056
0,4	42,2	1,0	0,059	-6,8	42,3	1,0	0,045	2,0	42,3	1,0	0,131	-2,5	42,4	1,0	0,059
0,5	42,2	1,0	0,061	-6,7	42,3	1,0	0,044	2,1	42,3	1,0	0,135	-2,4	42,4	1,0	0,061
0,6	42,2	1,0	0,063	-6,6	42,3	1,0	0,043	2,2	42,3	1,0	0,138	-2,3	42,4	1,0	0,062
0,7	42,2	1,0	0,065	-6,5	42,3	1,0	0,042	2,3	42,3	1,0	0,139	-2,2	42,4	1,0	0,061
0,8	42,2	1,0	0,067	-6,4	42,3	1,0	0,042	2,4	42,3	1,0	0,137	-2,1	42,4	1,0	0,060
0,9	42,2	1,0	0,069	-6,3	42,3	1,0	0,041	2,5	42,3	1,0	0,132	-2,0	42,4	1,0	0,059
1,0	42,2	1,0	0,071	-6,2	42,3	1,0	0,040	2,6	42,3	1,0	0,127	-1,9	42,4	1,0	0,058
1,1	42,2	1,0	0,073	-6,1	42,3	1,0	0,040	2,7	42,3	1,0	0,122	-1,8	42,4	1,0	0,057
1,2	42,2	1,0	0,076	-6,0	42,3	1,0	0,039	2,8	42,3	1,0	0,120	-1,7	42,4	1,0	0,057
1,3	42,2	1,0	0,079	-3,3	42,3	1,0	0,038	2,9	42,3	1,0	0,116	-1,6	42,4	1,0	0,058
1,4	42,2	1,0	0,084	-3,2	42,3	1,0	0,040	3,0	42,3	1,0	0,113	-1,5	42,4	1,0	0,058
1,5	42,2	1,0	0,088	-3,1	42,3	1,0	0,042	3,1	42,3	1,0	0,110	-1,4	42,4	1,0	0,059
1,6	42,2	1,0	0,092	-3,0	42,3	1,0	0,045	3,2	42,3	1,0	0,106	-1,3	42,4	1,0	0,061
1,7	42,2	1,0	0,096	-2,9	42,3	1,0	0,049	3,3	42,3	1,0	0,102	-1,2	42,4	1,0	0,063
1,8	42,2	1,0	0,101	-2,8	42,3	1,0	0,053	3,4	42,3	1,0	0,097	-1,1	42,4	1,0	0,064
1,9	42,2	1,0	0,106	-2,7	42,3	1,0	0,058	3,5	42,3	1,0	0,090	-1,0	42,4	1,0	0,065
2,0	42,2	1,0	0,112	-2,6	42,3	1,0	0,061	3,6	42,3	1,0	0,079	-0,9	42,4	1,0	0,064
2,1	42,2	1,0	0,117	-2,5	42,3	1,0	0,065	3,7	42,3	1,0	0,065	-0,8	42,4	1,0	0,063
2,2	42,2	1,0	0,122	-2,4	42,3	1,0	0,065	3,8	42,3	1,0	0,052	-0,7	42,4	1,0	0,063
2,3	42,2	1,0	0,126	-2,3	42,3	1,0	0,064	-9,7	42,4	1,0	0,039	-0,6	42,4	1,0	0,064
2,4	42,2	1,0	0,128	-2,2	42,3	1,0	0,062	-9,6	42,4	1,0	0,044	-0,5	42,4	1,0	0,065
2,5	42,2	1,0	0,128	-2,1	42,3	1,0	0,058	-9,5	42,4	1,0	0,049	-0,4	42,4	1,0	0,066
2,6	42,2	1,0	0,125	-2,0	42,3	1,0	0,056	-9,4	42,4	1,0	0,054	-0,3	42,4	1,0	0,068
2,7	42,2	1,0	0,122	-1,9	42,3	1,0	0,053	-9,3	42,4	1,0	0,059	-0,2	42,4	1,0	0,069
2,8	42,2	1,0	0,118	-1,8	42,3	1,0	0,051	-9,2	42,4	1,0	0,063	-0,1	42,4	1,0	0,071
2,9	42,2	1,0	0,117	-1,7	42,3	1,0	0,049	-9,1	42,4	1,0	0,064	0,0	42,4	1,0	0,073
3,0	42,2	1,0	0,114	-1,6	42,3	1,0	0,049	-9,0	42,4	1,0	0,065	0,1	42,4	1,0	0,075
3,1	42,2	1,0	0,110	-1,5	42,3	1,0	0,048	-8,9	42,4	1,0	0,066	0,2	42,4	1,0	0,077

Figura 2. Aceleración sísmica  $a_{gR}$  en el emplazamiento del Proyecto

**4.3.3. CONDICIONES DEL TERRENO**

El terreno se clasifica en función de su capacidad de producir la amplificación del movimiento sísmico que se produzca en la roca, lo que depende del espesor de suelos superficiales y de la velocidad media de propagación de las ondas sísmicas transversales. La tabla 3.1 de UNE-EN 1998-1 considera los seis tipos de terreno que se reproducen en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Tipos de terreno (tabla 3.1 de UNE-EN 1998-1)**

Tipo de terreno	Descripción del perfil estratigráfico	Parámetros		
		V <sub>s,30</sub> (m/s)	NSPT (golpes/30 cm)	Cu (kPa)
A	Roca u otra formación geológica similar a roca, incluyendo como máximo 5 m de material más débil en la superficie.	> 800	-	-
B	Depósitos de arena muy densa, grava, o arcilla muy rígida, de al menos algunas decenas de metros de espesor, caracterizados por un aumento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.	360 - 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de arena densa o de densidad de media a densa, grava o arcilla dura con espesor de algunas decenas a muchos centenares de metros	180 - 360	15 - 50	70-250
D	Depósitos de suelos sueltos a medios no cohesionados (con o sin algunas capas blandas cohesivas), o principalmente suelos cohesivos de rigidez débil a firme.	< 180	< 15	< 70
E	Un perfil de suelo constituido por una capa aluvial con valores de v <sub>s</sub> de tipo C o D y espesor variable entre 5 y 20 m, que yace sobre un material más rígido con v <sub>s</sub> > 800 m/s.			
S <sub>1</sub>	Depósitos que contienen una capa de al menos 10 m de espesor, de arcillas/aluviales blandos con alto índice de plasticidad (IP>40) y alto contenido en agua.	< 100		10-20
S <sub>2</sub>	Depósitos de suelos licuefactables, de arcillas sensibles o cualquier otro perfil de suelo no incluido en los tipos A – E o S <sub>1</sub> .			

El suelo se caracteriza a partir de la velocidad media de las ondas de corte v<sub>s,30</sub> (m/s). El subíndice 30 se refiere a que v<sub>s,30</sub> es la velocidad media de propagación de las ondas transversales en los primeros 30 m de profundidad. Esta velocidad media se obtiene a partir de las velocidades medidas en los distintos estratos v<sub>i</sub> y el espesor de cada estrato h<sub>i</sub>, utilizando la expresión (3.1) de UNE-EN 1998-1:

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

De acuerdo con el Anejo nº12 *Estudio Geotécnico para la cimentación de estructuras y túneles* la velocidad del terreno es:

Estructuras y muros	Clasificación del terreno	V <sub>s</sub> (m/s)
E1	Profundidad < 4 m: terreno tipo C	C: 180-360
	Profundidad > 4 m: terreno tipo B	B: 360-800
E2	Profundidad < 12 m: terreno tipo C	C: 180-360
	Profundidad > 12 m: terreno tipo B	B: 360-800
E3	Profundidad < 17 m: terreno tipo C	C: 180-360
	Profundidad > 17 m: terreno tipo B	B: 360-800
E4	Profundidad < 4 m: terreno tipo C	C: 180-360
	Profundidad > 4 m: terreno tipo B	B: 360-800
M1	Profundidad < 12 m: terreno tipo C	C: 180-360
	Profundidad > 12 m: terreno tipo B	B: 360-800
M2	Profundidad < 4 m: terreno tipo C	C: 180-360
	Profundidad > 4 m: terreno tipo B	B: 360-800

Se consideran unas velocidades medias de 270 m/s para un terreno tipo C y de 580 m/s para un terreno tipo B y se estima para cada estructura la velocidad media de propagación de las ondas transversales en los primeros 30 m de profundidad v<sub>s,30</sub> conforme indica la siguiente tabla:

Estructuras y muros	Clasificación del terreno	V <sub>s,30</sub> (m/s)
E-1	B	503
E-2	B	397
E-3	C	351
E-4	B	503
M-1	B	397
M-2	B	503

4.3.4. ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA

4.3.4.1. Espectro de respuesta elástica para movimientos horizontales

El espectro elástico para las componentes horizontales se define en el apartado 3.2.2.2 de UNE-EN 1998-1 de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T \leq T_B & \quad S_e(T) = a_g S \left[ 1 + \frac{T}{T_B} (\eta 2,5 - 1) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C & \quad S_e(T) = a_g S \eta 2,5 \\
 T_C \leq T \leq T_D & \quad S_e(T) = a_g S \eta 2,5 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\
 T_D \leq T \leq 4s & \quad S_e(T) = a_g S \eta 2,5 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right]
 \end{aligned}$$

donde:

- $S_e(T)$ : Espectro de respuesta elástica en términos de pseudo-aceleraciones espectrales.
- $T$ : Periodo de un oscilador lineal de un grado de libertad.
- $a_g$ : Valor de cálculo de la aceleración del suelo referida a un terreno de tipo A (roca), definido por la expresión:

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$$

$\gamma_I$ : factor de importancia

$a_{gR}$ : aceleración máxima del suelo (PGA) referida a un terreno de tipo A

$T_B$  y  $T_C$ : Límites inferior y superior de los periodos de la meseta del espectro (rama de aceleración constante).

$T_D$ : Periodo donde empieza la rampa de desplazamiento constante.

$S$ : Coeficiente de suelo que tiene en cuenta la amplificación dinámica de los terrenos más blandos.

$\eta$ : Coeficiente corrector del amortiguamiento, con un valor de referencia igual a la unidad para un índice de amortiguamiento viscoso del 5%.

La figura siguiente, que reproduce la figura 3.1 de UNE-EN 1998-1, muestra la forma genérica de este espectro de respuesta elástica para la componente horizontal.

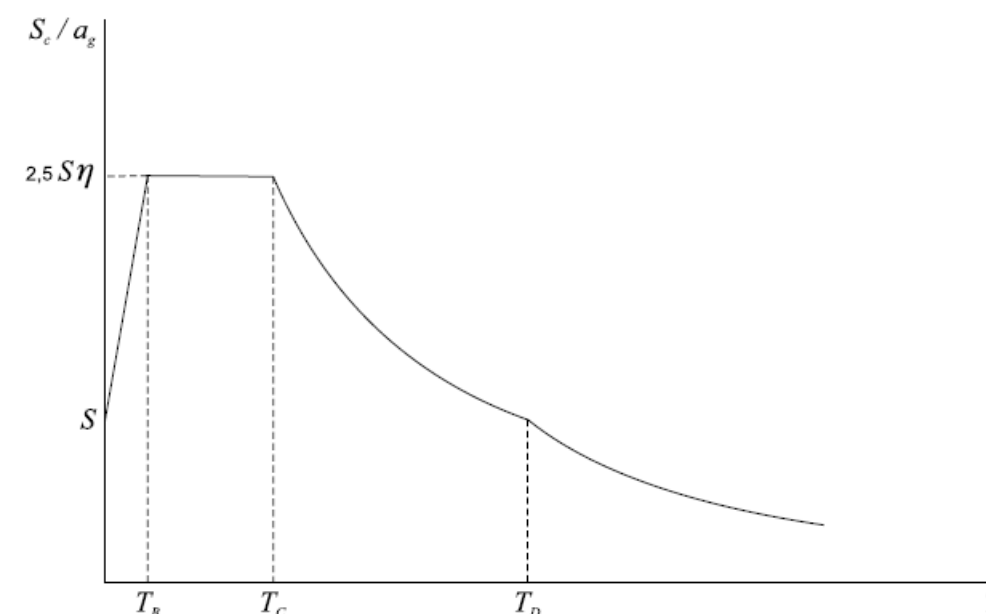


Figura 3. Forma del espectro de respuesta elástico (figura 3.1 de UNE-EN 1998-1)

UNE-EN 1998-1 proporciona dos series de valores para los parámetros  $S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  y  $T_D$  a las cuales hace como referencia como espectro de respuesta *tipo 1* y espectro de respuesta *tipo 2*. El espectro de *tipo 1* corresponde a los sismos de magnitud media a grande mientras que el espectro *tipo 2* representa los sismos de magnitud inferior a 5,5 que se generan a poca distancia (sismo de campo cercano), con una meseta de mayor amplitud, pero menos extensa en términos de periodos.

Con objeto de simplificar el análisis sísmico, el Anejo Nacional de UNE-EN 1998-1 descarta el uso de dos tipos de espectro y propone, por tanto, un único espectro envolvente que incorpora, además, la cercanía a la falla Azores-Gibraltar a través del parámetro  $K$ . De esta forma las cláusulas 3.2.2.1(4) y 3.2.2.2(2)P del Anejo Nacional establecen los parámetros  $S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  y  $T_D$  que definen la forma del espectro de respuesta elástica horizontal a nivel nacional. La Tabla 3, que reproduce la tabla AN/2 de AN/UNE-EN 1998-1, recoge estos valores.

En esta tabla los parámetros  $C$  y  $K$  son los siguientes:

- Parámetro  $C$ :

$$C = (800/v_{s,30})^{0,465}$$

- Parámetro  $K$ : este coeficiente tiene en cuenta la cercanía a la falla Azores-Gibraltar y se obtiene del Anejo Nacional de UNE-EN 1998-1 (AN5. Valores de aceleración horizontal pico de referencia en suelo tipo A y parámetro  $K$ ).

**Tabla 3. Valores de los parámetros que describen el espectro elástico de respuesta horizontal (Anejo Nacional UNE-EN 1998-1)**

Suelo tipo	S	$T_B$ (s)	$T_c$ (s)	$T_D$ (s)
A	1	$\frac{T_c}{5}$	$\frac{K}{4}$	2.0
B C	$a_g \leq 0.1g : S = C$ $0.1g < a_g \leq 0.4g : S = C + 3.33 \left( \frac{a_g}{g} - 0.1 \right) (1.0 - C)$ $a_g > 0.4g : S = 1$	$\frac{T_c}{5}$	$\frac{KC}{4}$	2.0
D	$a_g \leq 0.1g : S = 2$ $0.1g < a_g \leq 0.4g : S = 2.33 - 3.33 \frac{a_g}{g}$ $a_g > 0.4g : S = 1$	$\frac{T_c}{5}$	$\frac{K}{2}$	2.0

donde  $C = (800/v_{s,30})^{0.465}$  (con  $v_{s,30}$  en m/s)

Teniendo en cuenta que las estructuras del Proyecto se han clasificado de importancia normal (clase II), la aceleración de cálculo del suelo en el emplazamiento del Proyecto referida a un terreno de tipo A (roca),  $a_g$ , es la siguiente (cláusula 3.2.2.2 de UNE-EN 1998-1):

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 1,00 \cdot 0,116 \cdot g = 0,116 \cdot g$$

Considerando el tipo de terreno en el emplazamiento y que la aceleración de cálculo verifica la inecuación  $0,1 \cdot g < a_g \leq 0,4 \cdot g$ , de acuerdo con las ecuaciones de la Tabla 3 el coeficiente de amplificación de terreno  $S$  tiene un valor:

Estructuras y muros	Suelo tipo	C	S
E1	B	1,241	1,228
E2	B	1,384	1,364
E3	C	1,466	1,441
E4	B	1,241	1,228
M1	B	1,384	1,364
M2	B	1,241	1,228

Los periodos de referencia  $T_B$ ,  $T_C$  y  $T_D$  son:

Estructuras y muros	Suelo tipo	$T_B$	$T_c$	$T_D$
E1	B	0,06 s	0,31 s	2,00 s
E2	B	0,07 s	0,34 s	2,00 s
E3	C	0,07 s	0,37 s	2,00 s
E4	B	0,06 s	0,31 s	2,00 s
M1	B	0,07 s	0,34 s	2,00 s
M2	B	0,06 s	0,31 s	2,00 s

Seguidamente se adjuntan los valores numéricos del espectro de respuesta elástico para movimientos horizontales.

**Tabla 4. Espectro de respuesta elástico para movimientos horizontales ( $\xi=5\%$ )**

ESTRUCTURAS							
E1		E2		E3		E4	
T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]
0,000	0,142g	0,000	0,158g	0,000	0,167g	0,000	0,142g
0,062	0,356g	0,069	0,396g	0,073	0,418g	0,062	0,356g
0,310	0,356g	0,346	0,396g	0,367	0,418g	0,310	0,356g
0,479	0,231g	0,511	0,268g	0,530	0,289g	0,479	0,231g
0,648	0,170g	0,677	0,202g	0,693	0,221g	0,648	0,170g
0,817	0,135g	0,842	0,163g	0,857	0,179g	0,817	0,135g
0,986	0,112g	1,008	0,136g	1,020	0,150g	0,986	0,112g
1,155	0,096g	1,173	0,117g	1,183	0,129g	1,155	0,096g
1,324	0,083g	1,338	0,102g	1,347	0,114g	1,324	0,083g
1,493	0,074g	1,504	0,091g	1,510	0,101g	1,493	0,074g
1,662	0,066g	1,669	0,082g	1,673	0,092g	1,662	0,066g
1,831	0,060g	1,835	0,075g	1,837	0,083g	1,831	0,060g
2,000	0,055g	2,000	0,068g	2,000	0,077g	2,000	0,055g
2,200	0,046g	2,200	0,057g	2,200	0,063g	2,200	0,046g
2,400	0,038g	2,400	0,048g	2,400	0,053g	2,400	0,038g
2,600	0,033g	2,600	0,041g	2,600	0,045g	2,600	0,033g
2,800	0,028g	2,800	0,035g	2,800	0,039g	2,800	0,028g
3,000	0,025g	3,000	0,030g	3,000	0,034g	3,000	0,025g

ESTRUCTURAS							
E1		E2		E3		E4	
T (s)	S <sub>e</sub> (T) [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	S <sub>e</sub> (T) [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	S <sub>e</sub> (T) [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	S <sub>e</sub> (T) [m/s <sup>2</sup> ]
3,200	0,022g	3,200	0,027g	3,200	0,030g	3,200	0,022g
3,400	0,019g	3,400	0,024g	3,400	0,027g	3,400	0,019g
3,600	0,017g	3,600	0,021g	3,600	0,024g	3,600	0,017g
3,800	0,015g	3,800	0,019g	3,800	0,021g	3,800	0,015g
4,000	0,014g	4,000	0,017g	4,000	0,019g	4,000	0,014g

MUROS			
M1		M2	
T (s)	S <sub>e</sub> (T) [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	S <sub>e</sub> (T) [m/s <sup>2</sup> ]
3,600	0,021g	3,600	0,017g
3,800	0,019g	3,800	0,015g
4,000	0,017g	4,000	0,014g

MUROS			
M1		M2	
T (s)	S <sub>e</sub> (T) [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	S <sub>e</sub> (T) [m/s <sup>2</sup> ]
0,000	0,158g	0,000	0,142g
0,069	0,396g	0,062	0,356g
0,346	0,396g	0,310	0,356g
0,511	0,268g	0,479	0,231g
0,677	0,202g	0,648	0,170g
0,842	0,163g	0,817	0,135g
1,008	0,136g	0,986	0,112g
1,173	0,117g	1,155	0,096g
1,338	0,102g	1,324	0,083g
1,504	0,091g	1,493	0,074g
1,669	0,082g	1,662	0,066g
1,835	0,075g	1,831	0,060g
2,000	0,068g	2,000	0,055g
2,200	0,057g	2,200	0,046g
2,400	0,048g	2,400	0,038g
2,600	0,041g	2,600	0,033g
2,800	0,035g	2,800	0,028g
3,000	0,030g	3,000	0,025g
3,200	0,027g	3,200	0,022g
3,400	0,024g	3,400	0,019g

#### 4.3.4.1. Espectro de respuesta elástica para movimientos verticales

El espectro elástico para las componentes verticales se define en el apartado 3.2.2.3 de UNE-EN 1998-1 de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T \leq T_B & \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \left[ 1 + \frac{T}{T_B} (\eta 3,0 - 1) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C & \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \eta 3,0 \\
 T_C \leq T \leq T_D & \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \eta 3,0 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\
 T_D \leq T \leq 4s & \quad S_{ve}(T) = a_{vg} \eta 3,0 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right]
 \end{aligned}$$

Al igual que ocurre con el sismo horizontal, UNE-EN 1998-1 distingue dos espectros verticales (*tipo 1* y *tipo 2*), fijando los valores de la aceleración vertical en función del valor de la aceleración horizontal y los valores de los periodos que limitan las cuatro ramas del espectro en la tabla 3.4 de UNE-EN 1998-1. No obstante, el Anejo Nacional establece en su cláusula 3.2.2.3(1)P los parámetros  $a_{vg}$ ,  $T_{vB}$ ,  $T_{vC}$  y  $T_{vD}$  que definen la forma del espectro de respuesta elástico vertical a nivel nacional, que son función de los adoptados para el espectro horizontal.

Tabla 5. Valores de los parámetros que describen el espectro de respuesta elástico vertical (Tabla AN/3 de AN/UNE-EN 1998-1)

$a_{vg}/a_g$	$T_{vB} / T_B$	$T_{vC} / T_C$	$T_{vD} / T_D$
0,70	1,00	0,75	1,00

De acuerdo con la Tabla 5, los parámetros que define el espectro de respuesta elástico vertical para el Proyecto son los siguientes:



Estructuras y muros	$a_{vg}$	$T_{VB}$	$T_{VC}$	$T_{VD}$
E1	0,081g	0,06 s	0,23 s	2,00 s
E2	0,081g	0,07 s	0,26 s	2,00 s
E3	0,081g	0,07 s	0,28 s	2,00 s
E4	0,081g	0,06 s	0,23 s	2,00 s
M1	0,081g	0,07 s	0,26 s	2,00 s
M2	0,081g	0,06 s	0,23 s	2,00 s

Los valores numéricos del espectro de respuesta elástico para movimientos verticales se adjuntan en la Tabla 6.

Tabla 6. Espectro de respuesta elástico para movimientos verticales ( $\xi=5\%$ )

ESTRUCTURAS							
E1		E2		E3		E4	
T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]
0,000	0,081g	0,000	0,081g	0,000	0,081g	0,000	0,081g
0,062	0,244g	0,069	0,244g	0,073	0,244g	0,062	0,244g
0,233	0,244g	0,260	0,244g	0,275	0,244g	0,233	0,244g
0,402	0,141g	0,425	0,149g	0,438	0,153g	0,402	0,141g
0,571	0,099g	0,590	0,107g	0,602	0,111g	0,571	0,099g
0,740	0,077g	0,756	0,084g	0,765	0,088g	0,740	0,077g
0,909	0,062g	0,921	0,069g	0,928	0,072g	0,909	0,062g
1,078	0,053g	1,087	0,058g	1,092	0,061g	1,078	0,053g
1,247	0,045g	1,252	0,051g	1,255	0,053g	1,247	0,045g
1,416	0,040g	1,417	0,045g	1,418	0,047g	1,416	0,040g
1,584	0,036g	1,583	0,040g	1,582	0,042g	1,584	0,036g
1,753	0,032g	1,748	0,036g	1,745	0,038g	1,753	0,032g
2,000	0,028g	2,000	0,032g	2,000	0,033g	2,000	0,028g
2,200	0,023g	2,200	0,026g	2,200	0,028g	2,200	0,023g
2,400	0,020g	2,400	0,022g	2,400	0,023g	2,400	0,020g
2,600	0,017g	2,600	0,019g	2,600	0,020g	2,600	0,017g
2,800	0,014g	2,800	0,016g	2,800	0,017g	2,800	0,014g
3,000	0,013g	3,000	0,014g	3,000	0,015g	3,000	0,013g

ESTRUCTURAS							
E1		E2		E3		E4	
T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]
3,200	0,011g	3,200	0,012g	3,200	0,013g	3,200	0,011g
3,400	0,010g	3,400	0,011g	3,400	0,012g	3,400	0,010g
3,600	0,009g	3,600	0,010g	3,600	0,010g	3,600	0,009g
3,800	0,008g	3,800	0,009g	3,800	0,009g	3,800	0,008g
4,000	0,007g	4,000	0,008g	4,000	0,008g	4,000	0,007g

MUROS			
M1		M2	
T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]
0,000	0,081g	0,000	0,081g
0,069	0,244g	0,062	0,244g
0,260	0,244g	0,233	0,244g
0,425	0,149g	0,402	0,141g
0,590	0,107g	0,571	0,099g
0,756	0,084g	0,740	0,077g
0,921	0,069g	0,909	0,062g
1,087	0,058g	1,078	0,053g
1,252	0,051g	1,247	0,045g
1,417	0,045g	1,416	0,040g
1,583	0,040g	1,584	0,036g
1,748	0,036g	1,753	0,032g
2,000	0,032g	2,000	0,028g
2,200	0,026g	2,200	0,023g
2,400	0,022g	2,400	0,020g
2,600	0,019g	2,600	0,017g
2,800	0,016g	2,800	0,014g
3,000	0,014g	3,000	0,013g
3,200	0,012g	3,200	0,011g
3,400	0,011g	3,400	0,010g

MUROS			
M1		M2	
T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]	T (s)	$S_e(T)$ [m/s <sup>2</sup> ]
3,600	0,010g	3,600	0,009g
3,800	0,009g	3,800	0,008g
4,000	0,008g	4,000	0,007g

#### 4.4. CONCLUSIONES

De acuerdo con el Anejo AN.5 (Valores de aceleración horizontal pico de referencia en suelo tipo A y parámetro K) del Anejo Nacional de UNE-EN 1998-1 la **aceleración horizontal de referencia para el emplazamiento del Proyecto es  $a_{gR}=0,116g$**  y, en consecuencia, corresponde a una zona de baja sismicidad ( $0,04g < a_{gR} \leq 0,10g$ ) y es obligatorio considerar la acción sísmica en el cálculo de las estructuras incluidas en el presente Proyecto.

Todas las estructuras del proyecto se han considerado de **Importancia Normal (Clase II)**, siendo por tanto el factor de importancia adoptado  $\gamma_I=1,00$ .

Por otro lado, las estructuras están cimentadas en terrenos tipo B y C, por lo que los coeficientes de amplificación del suelo S y las aceleraciones de cálculo en cada emplazamiento son:

Estructuras y muros	Suelo tipo	$a_g$	S	$a_g \cdot S$
E1	B	0,116g	1,228	0,142g
E2	B	0,116g	1,364	0,158g
E3	C	0,116g	1,441	0,167g
E4	B	0,116g	1,228	0,142g
M1	B	0,116g	1,364	0,158g
M2	B	0,116g	1,228	0,142g

Los espectros de respuesta elástico para movimientos horizontales y verticales (para un índice de amortiguamiento viscoso del 5%) son los indicados en las Figura 4 a 8.

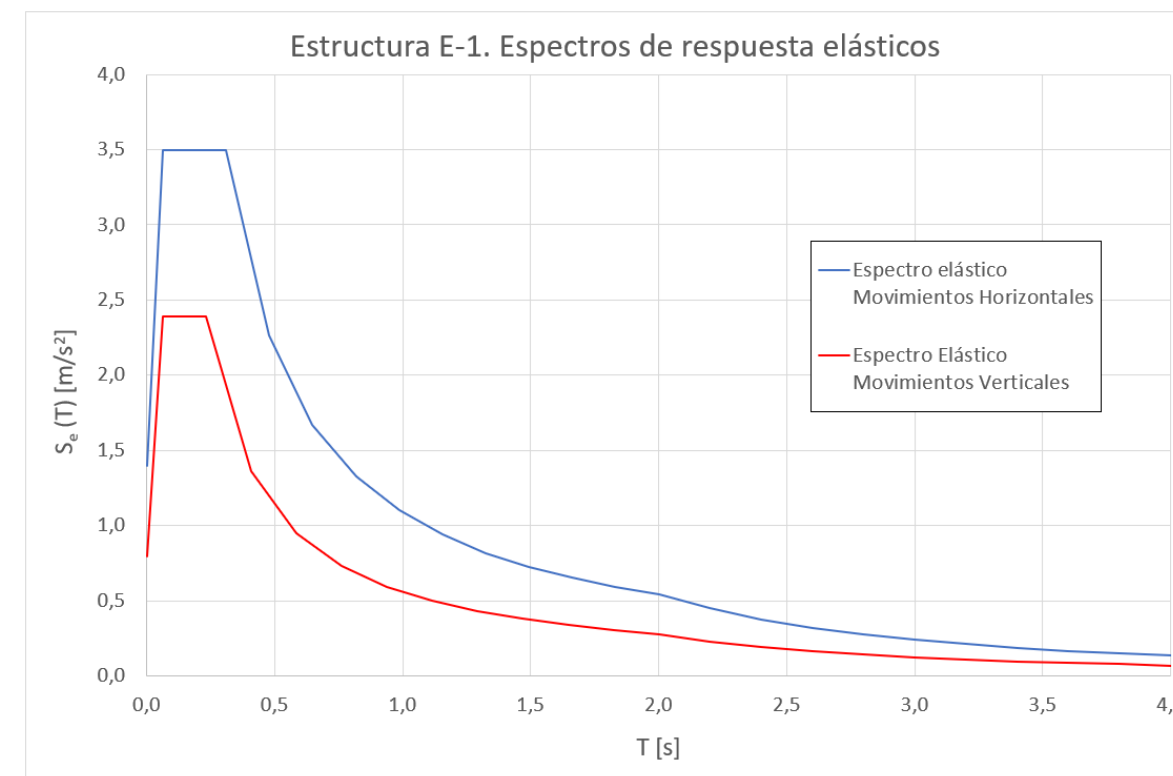


Figura 4. Estructura E1. Espectros de respuesta elásticos del Proyecto ( $\xi=5\%$ ).

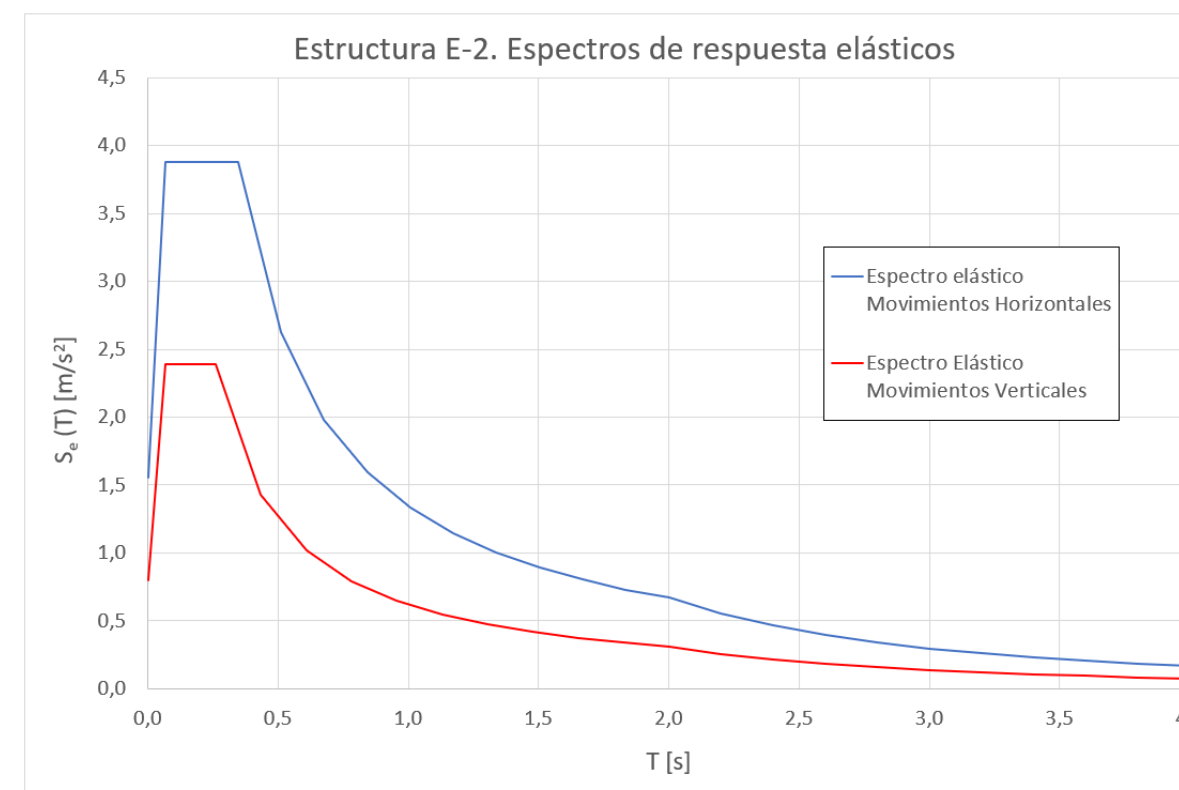


Figura 5. Estructura E2. Espectros de respuesta elásticos del Proyecto ( $\xi=5\%$ ).

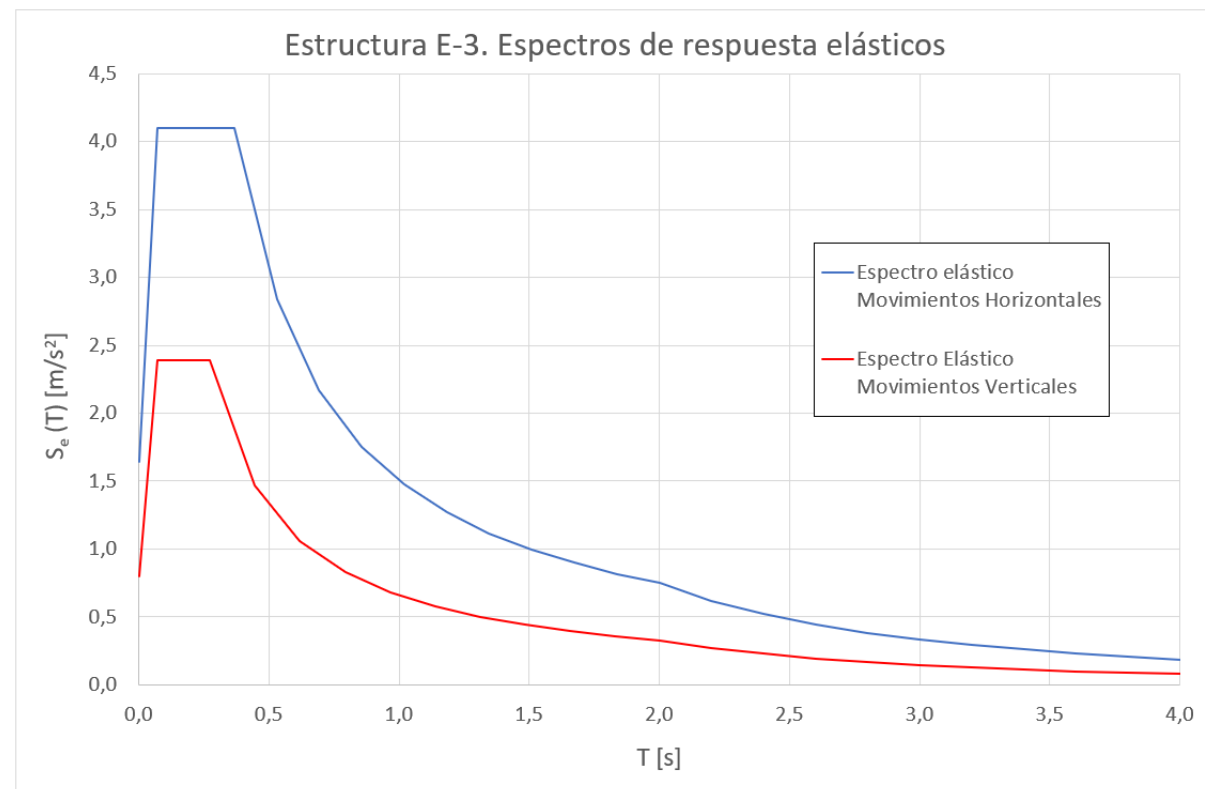


Figura 6. Estructura E3. Espectros de respuesta elásticos del Proyecto ( $\alpha=5\%$ ).

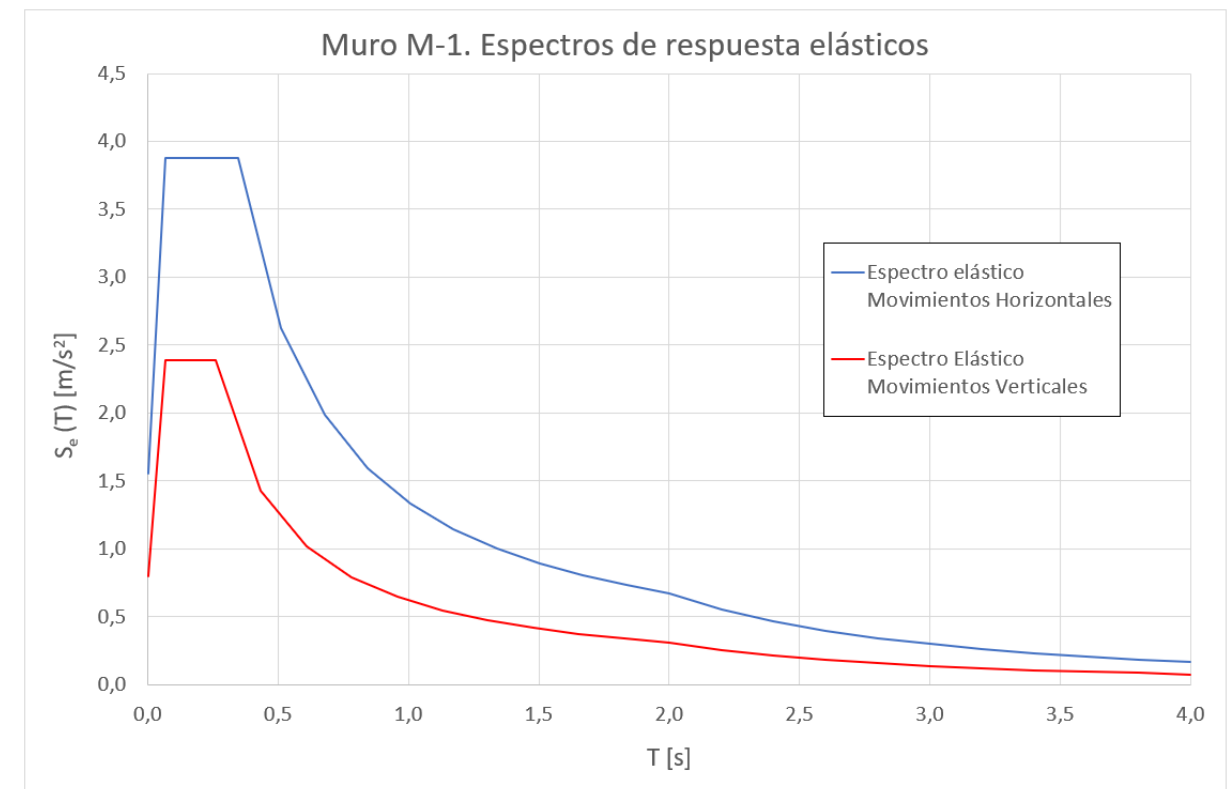


Figura 8. Muro M1. Espectros de respuesta elásticos del Proyecto ( $\alpha=5\%$ ).

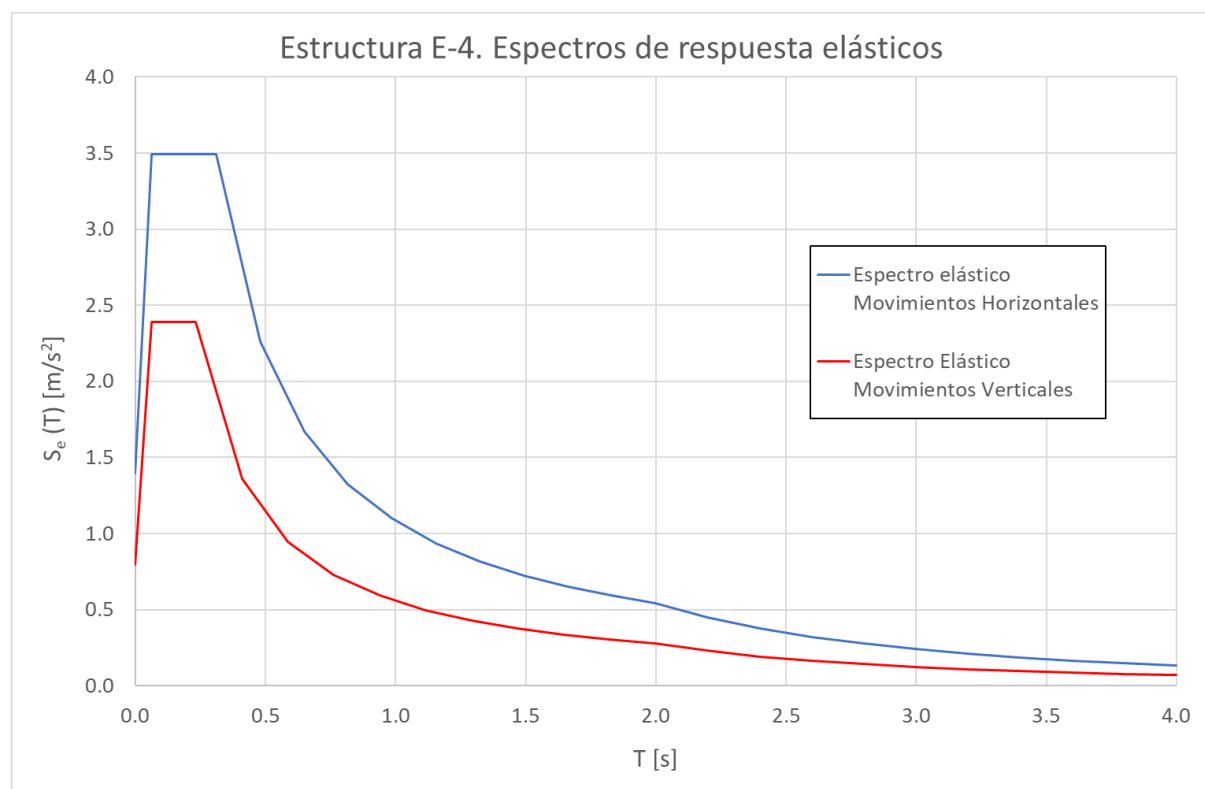


Figura 7. Estructura E4. Espectros de respuesta elásticos del Proyecto ( $\alpha=5\%$ ).

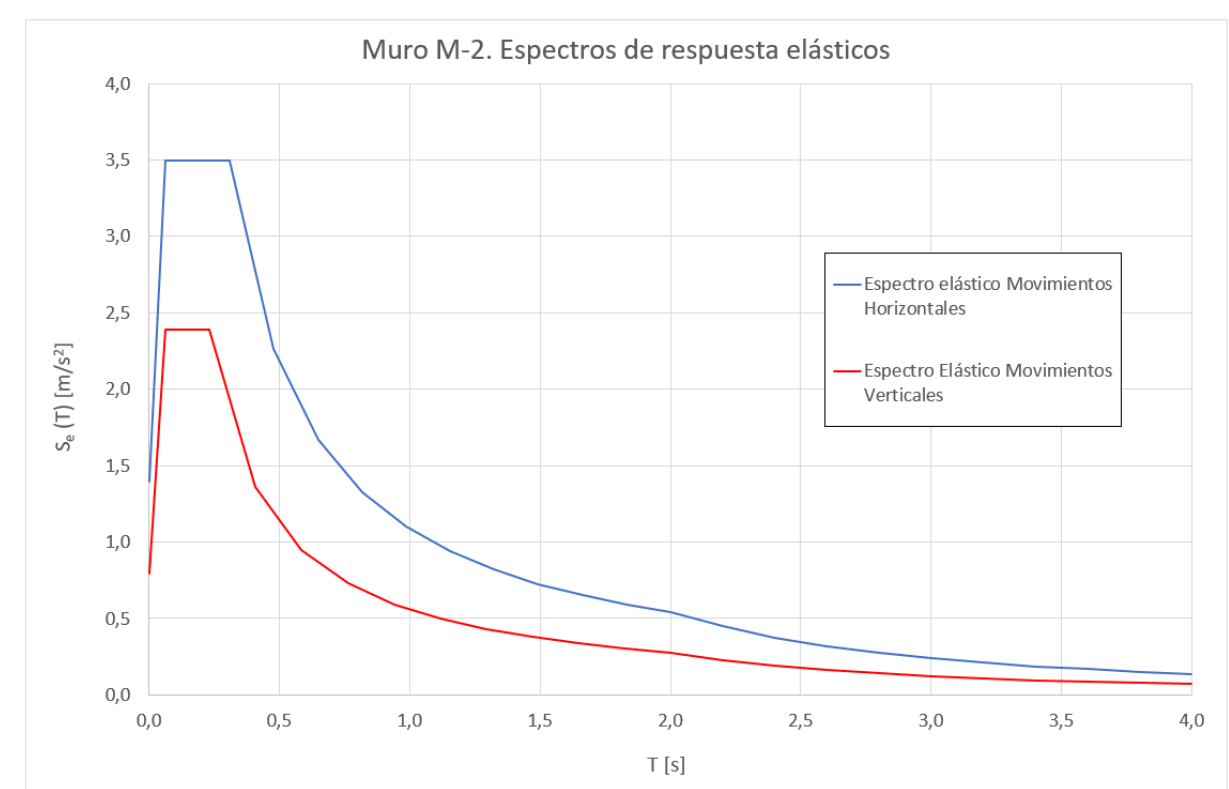


Figura 9. Muro M2. Espectros de respuesta elásticos del Proyecto ( $\alpha=5\%$ ).